ตัวอย่างการออกแบบอาคารในคลองส่งน้ำ

เอกสารประกอบการสอน

วิชา 02207421

การออกแบบคลองและอาคารส่งน้ำ

รศ.สันติ ทองพำนัก

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

พ.ศ. 2555

สารบัญ

หน้า

1. การออกแบบ OUTLET TRANSITION

- ☞ ตัวอย่างการออกแบบ OUTLET TRANSITION
- ☞ เกณฑ์กำหนดในการออกแบบ
- ☞ วิธีทำ
- ☞ เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบคอนกรีตและเหล็ก
- ☞ การลดเหล็กที่กำแพง

2. การออกแบบ BENCH FLUME

- ☞ ตัวอย่างการออกแบบ BENCH FLUME
- ☞ การออกแบบด้านโครงสร้าง

3. การออกแบบรางน้ำรูปตัวยูฝังดิน

- ☞ เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติคอนกรีตและเหล็กเสริม
- ☞ เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติเหล็กรูปพรรณและการเชื่อม
- ☞ เกณฑ์กำหนดหน่วยน้ำหนักที่จะใช้ในการคำนวณแรงกระทำกับอาคาร
- ☞ เกณฑ์กำหนดเหล็กเริมหลักและเหล็กเสริมกันแตกร้าว
- ☞ เกณฑ์การคำนวณกำแพงกันดินรูปตัวยู

4. การออกแบบสะพานน้ำ

5. การออกแบบท่อลอดชนิดท่อเหลี่ยม

- ☞ เกณฑ์กำหนดขนาด
- ☞ เกณฑ์กำหนดในการออกแบบ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6. DESIGN OF VERTICAL DROP WITH NOTCH CONTROL

- ☞ คลอง
- ☞ CONTROL NOTCH
- ☞ STILING BASIN
- ☞ TRANSITION
- ☞ WEIGHTED CREEP RATIO และ UPLIFT

7. DESIGN OF VERTICAL DROP WITH WEIR CONTROL

- ☞ คลอง
- ☞ DUCKBILL WEIR
- ☞ STILING BASIN
- ☞ สรุป
- ☞ WEIGHTED CREEP RATIO AND UPLIFT
- ☞ TRANSITION
- ☞ กำหนดระดับ

8. DESIGN OF INCLINED WITH WEIR CONTROL

- ☞ คลอง
- ☞ อาคารทดน้ำ DUCKBILL WEIR
- ☞ น้ำตกเอียง
- ☞ TRANSITION
- ☞ TRANSITION
- ☞ ระดับและความยาว
- ☞ WEIGHTED CREEP RATION

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

9. กำแพงกันดิน (Retaining Wall)

- ☞ เกณฑ์กำหนดขนาด
- ☞ ขั้นตอนในการออกแบบ
- ☞ ข้อกำหนดในการออกแบบ

10. กำแพงกันดินแบบเคาเตอร์ฟอร์ท (Counterfort Retaining Wall)

- ☞ ตัวกำแพง (The Stem)
- ☞ ขั้นตอนในการออกแบบ (The base slab)
- ☞ ครีบเคาเตอร์ฟอร์ท (Counterfort)

11. การออกแบบและใช้แบบมาตรฐานท่อส่งน้ำเข้านา

- ☞ การออกแบบท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อตรง (TYPE A)
- ☞ การออกแบบท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อหักงอ (TYPE B)
- ☞ ตัวอย่างแบบมาตรฐาน
- ☞ ตัวอย่างการคำนวณออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา

การออกแบบ OUTLET TRANSITION

ตัวอย่างการออกแบบ OUTLET TRANSITION

จงออกแบบ OUTLET TRANSITION เชื่อมต่อระหว่างหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า และคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ข้อมูลหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

- ความกว้าง 2.20 เมตร
- ความสูง 3.00 เมตร

ข้อมูลคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

- ก้นคลองกว้าง 2.60 เมตร
- ความลึกของน้ำ 1.79 เมตร
- ความลาดเทด้านข้าง 1 : 1.50 เมตร
- ความสูงของคลอง 2.10 เมตร

ข้อมูลของระดับต่างๆ ดูในรูปที่ 2

เกณฑ์กำหนดในการออกแบบ

- ดินถมอัดแน่น , γ 1.9 ตัน / ม.^{3}
- ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ , γ_{sat} 2.2 ตัน / ม.^{3}
- มุมแรงเสียดทานภายในของดิน , ϕ 30 องศา
- Bearing Capacity ของดิน 10 ตัน / ม.^{2}
- คอนกรีตเสริมเหล็ก , γ 2.4 ตัน / ม.^{3}
- เหล็กรับอุณหภูมิ 0.15% ในทุกผิว
- กำหนดให้ใช้ COVERING 5 เซนติเมตร
- การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กให้ใช้ตามหลักการของ Working Stress

$M_s = As.fs.j.d$ โดย fs = 1,500 กก. / ซม.^{2} และ j = 0.885

$M_c = R.b.d^2$ โดย R = 11.995

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

$u = \frac{V}{\Sigma o.j.d}$

- คานที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน , v_c 3.8 กก. / ซม.^{2}

วิธีทำ

Length of transition = $\frac{(1.5\times1.79+0.5\times2.00)-0.5\times2.20}{\tan\ 22.5^{\circ}}$

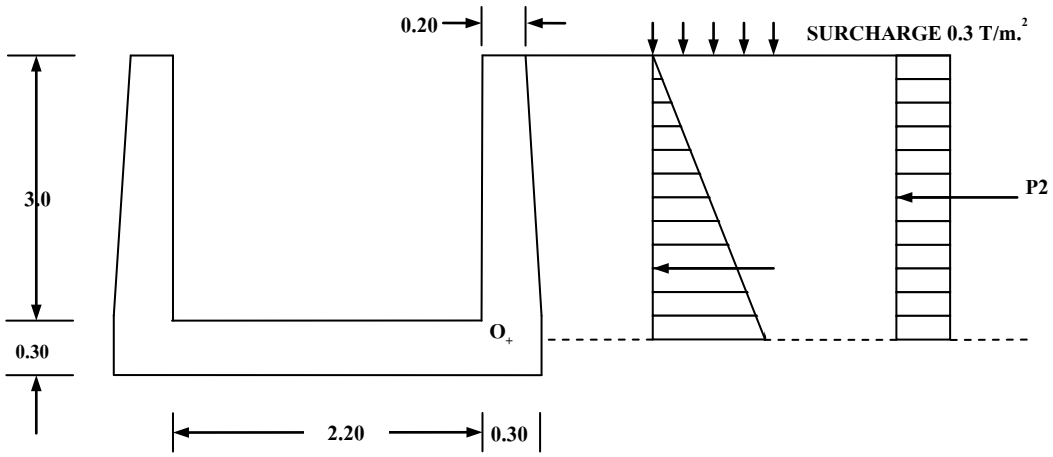
= 6.97 m.

กำหนดใช้ L = 7.00 m.

ทำการกำหนดรูป PLAN และ LONGITUDINAL SECTION ได้ดังรูปที่ ① และ ②

Design reinforcement of ①-①

ใช้หน้าตัด B-B ซึ่งเป็นหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



สมมติว่าไม่มีน้ำใต้ดิน

ดินถมอัดแน่นมีความหนาแน่น 1,900 kg/m^3

Internal friction angle, ϕ 30^o

$\therefore$ ka = $\frac{1}{3}$

Su = 300 kg/m^2

ออกแบบกรณีวิกฤตเมื่อน้ำใน transition ไม่มี

P1 = $\frac{1}{2}$ Ka γ_{SOIL} H^2

= $0.5\times\frac{1}{3}\times1900\times\left(3+\frac{0.3}{2}\right)^2$

= 3142.13 kg/m.

P2 = ka.Su.H

= $\frac{1}{3}\times300\times(3+0.15)$ = 315 kg/m.

Vmax = 3142.13 + 315 = 3457.13 kg/m.

Mmax รอบจุด O = $3142.13\times\left(\frac{3+0.15}{3}\right)+315\times\frac{3.15}{2}$

Mmax = 4126.11 (kg-m)/m.

<u>เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบคอนกรีตและเหล็ก</u>

dm = $\sqrt{M/Rb}$ = $\sqrt{\frac{4126.11\times100}{11.995\times100}}$

= 18.55 ซม.

dv = $\frac{V}{v_c.b}$ = $\frac{3457.13}{3.8\times10}$ = 9.10 ซม.

Use t = 30 ซม.

Covering = 5 ซม.

d = 25 ซม.

As = $\frac{M}{fs.j.d}$ = $\frac{4126.11\times100}{1500\times0.885\times25}$

As = 12.43 ซม.^{2}

Use ϕ 16 @ 0.20 + ϕ12 @ 0.20 ได้

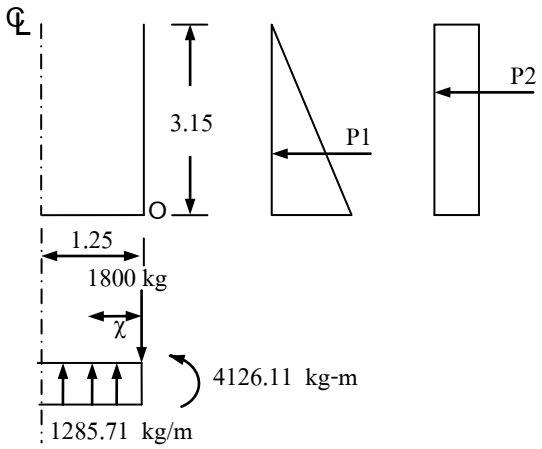
As = 10.05 + 5.65 = 15.70 ซม.^{2} > 12.43 ซม.^{2} **<u>OK.</u>**

ใช้เหล็กรับอุณหภูมิ 0.15% ของหน้าตัด

Ast = Asmin = $0.0015 \times 100 \times 30$

= 4.50 ซม.^{2}

Use ϕ 12 @ 0.20 ได้ As = 5.65 ซม.^{2} > 4.50 ซม.^{2} **<u>OK.</u>**



Weight of side wall = $\frac{1}{2}\times(0.20+0.30)\times3.00\times2400$

= 1800 kg/m.

Upward soil reaction = $\frac{2\times1800}{2.80\times1.00}$ = 1285.71 kg/m.^{2}

Moment at ℄ = $-4126.11-1285.71\times\frac{1.25^2}{2}+1800\times1.25$

Moment at ℄ = $-4126.11-1004.46+2250$

= -2880.57 kg-m/m.

As = $\frac{2880.57\times100}{1500\times0.885\times25}$ = 8.68 ซม.^{2}

Use ϕ 16 @ 0.20 ได้ As = 10.05 ซม.^{2} > 8.68 ซม.^{2} **OK.**

หาระยะ χ

M for bars ϕ 16 @ 0.20 = $10.05\times1500\times0.885\times\frac{25}{100}$

= 3335.34 kg-m

$-4126.11-1285.71\frac{\chi^2}{2}+1800\ \chi$ = -3335.34

χ = 0.546 ซม. Use 0.80 ซม.

การลดเหล็กที่กำแพง

กำหนดให้ลดเหล็กที่ความลึก 1.80 m. จากขอบกำแพง

P1 = $\frac{1}{2}\times\frac{1}{3}\times1900\times1.8^2$ = 1026 kg

P2 = $\frac{1}{3}\times300\times1.8$ = 180 kg

Mmax = $1026\times\frac{1.8}{3}\times180\times\frac{1.8}{2}$ = 777.6 kg-m

As = $\frac{777.60\times100}{1500\times0.885\times(26-5)}$ = 2.79 ซม.^{2} < Ast

Use ϕ 12 @ 0.20 ได้ As = 5.65 ซม.^{2} (เสริมเหล็กอย่างน้อยเท่ากับ Ast)

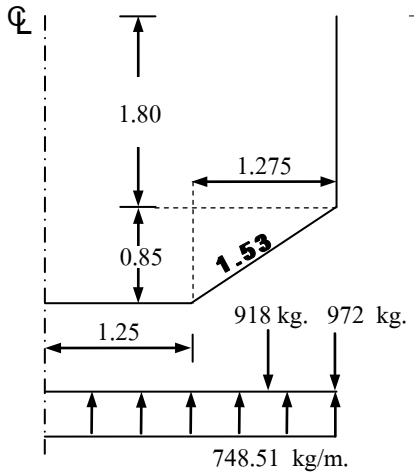
Design reinforcement of ② - ②

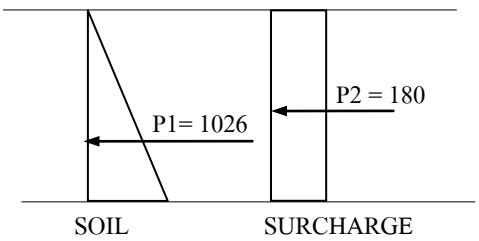
Use section © - © for designing

Height of vertical wall = 1.8 m.

Height of sloped wall = 0.85 m.

Thickness of slab = 0.25 m.





P1 = $\frac{1}{3}\times 1900\times\frac{1.8^2}{2}$ = 1026 kg/m.

P2 = $\frac{1}{3}\times 300\times 1.8$ = 180 kg/m.

Weight of vertical wall = $\frac{1}{2}\times(0.20+0.25)\times 1.8\times 2400$

= 972 kg/m.

Weight of sloped wall = $0.25\times 1.53\times 2400$

= 918 kg/m.

∴ Upward soil reaction = $\frac{972+918}{(1.25+1.275)}$

= 748.51 kg/m.^{2}/m.

M_A = $1026\times\frac{1.8}{3}+180\times\frac{1.8}{2}$ = 777.6 kg-m.

(เสริมเหล็กรับโมเมนต์ผิวนอก)

As = $\frac{777.6\times 100}{1500\times 0.885\times(25-5)}$ = 2.93 ซม.^{2} } **Use Φ 12 @ 0.20**

Ast = $0.0015\times 25\times 100$ = 3.75 ซม.^{2} } **As = 5.65 ซม.^{2}**

M_B = $1026\times\left(\frac{1.8}{3}+0.85\right)+\frac{748.51\times(1.275)^2}{2}+180\times\left(\frac{1.8}{2}+0.85\right)-\frac{918\times 1.275}{2}-972\times 1.275$

= $1487.70+608.40+315-585.23-1239.3$

= 586.57 kg-m/m (เสริมเหล็กรับโมเมนต์ผิวนอก)

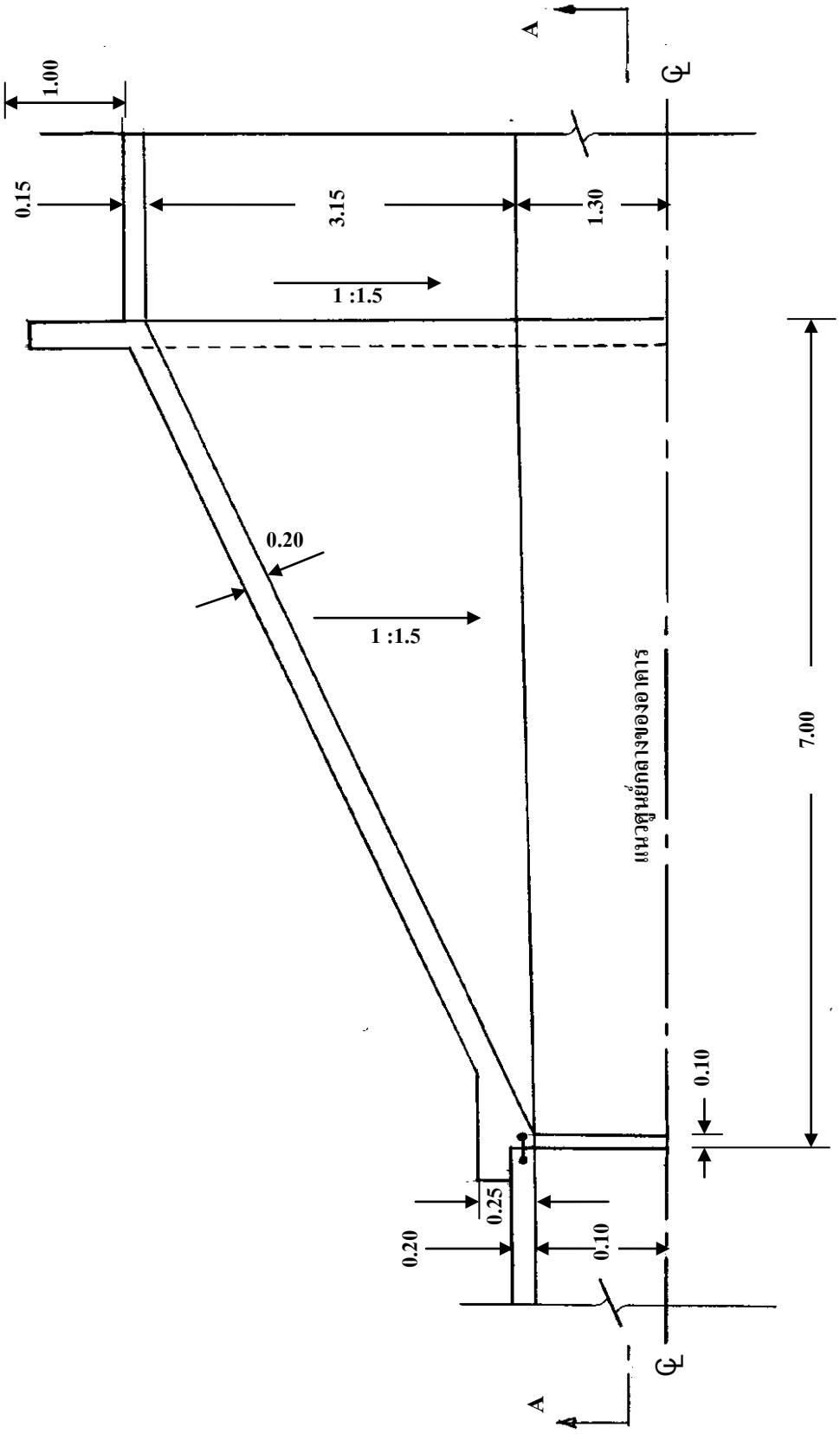
As = $\frac{586.57\times 100}{1500\times 0.885\times(25-5)}$ = 2.21 ซม.^{2} **Use Φ 12 @ 0.20**

M_{CL} = $1026\times\left(\frac{1.8}{3}+0.85\right)+180\left(\frac{1.8}{2}+0.85\right)+748.51\frac{(2.525)^2}{2}-918\left(\frac{1.275}{2}+1.25\right)-972(1.275+1.25)$

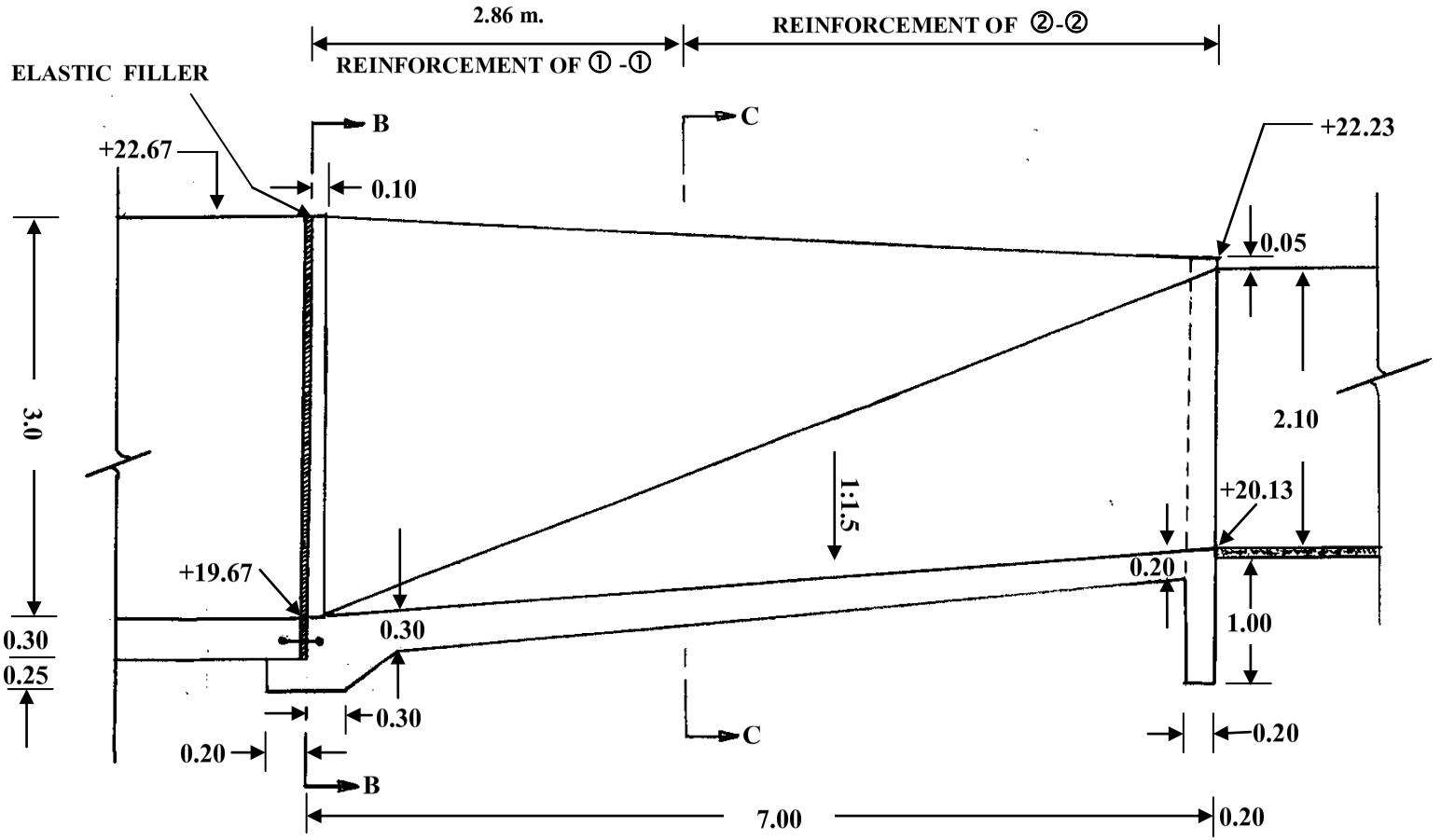
M_{CL} = $1487.70+315+2386.11-1732.73-2454.30$

= +1.78 kg-m/m (เสริมเหล็กรับโมเมนต์ผิวนอก)

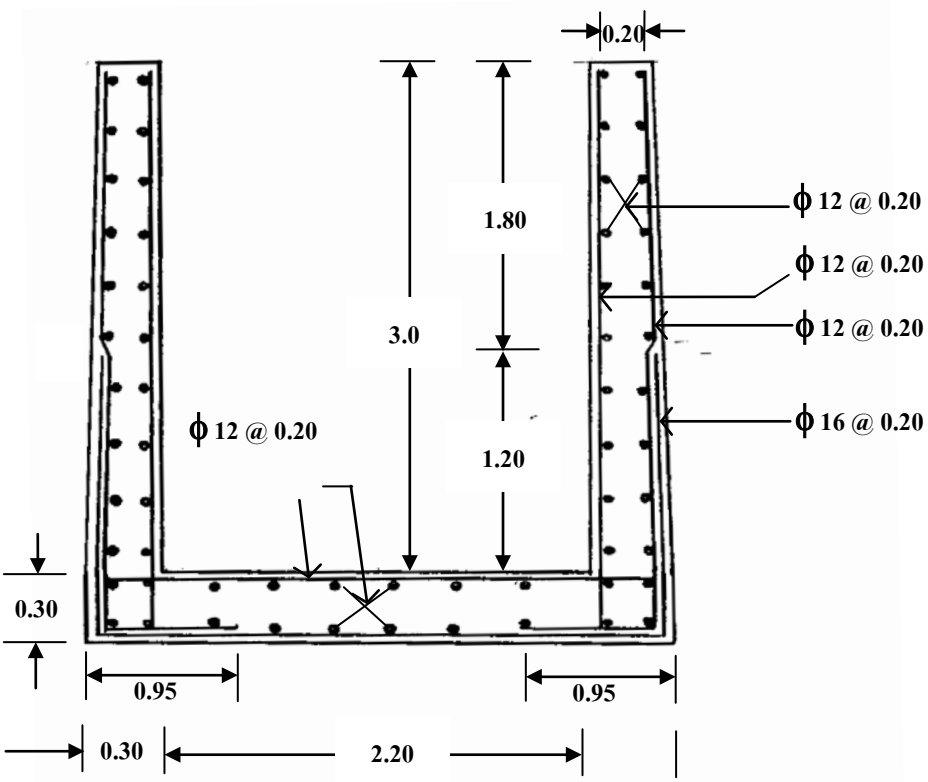
As = $\frac{1.78\times 100}{1500\times 0.885\times(25-5)}$ = 0.0067 ซม.^{2} **Use Φ 12 @ 0.20**



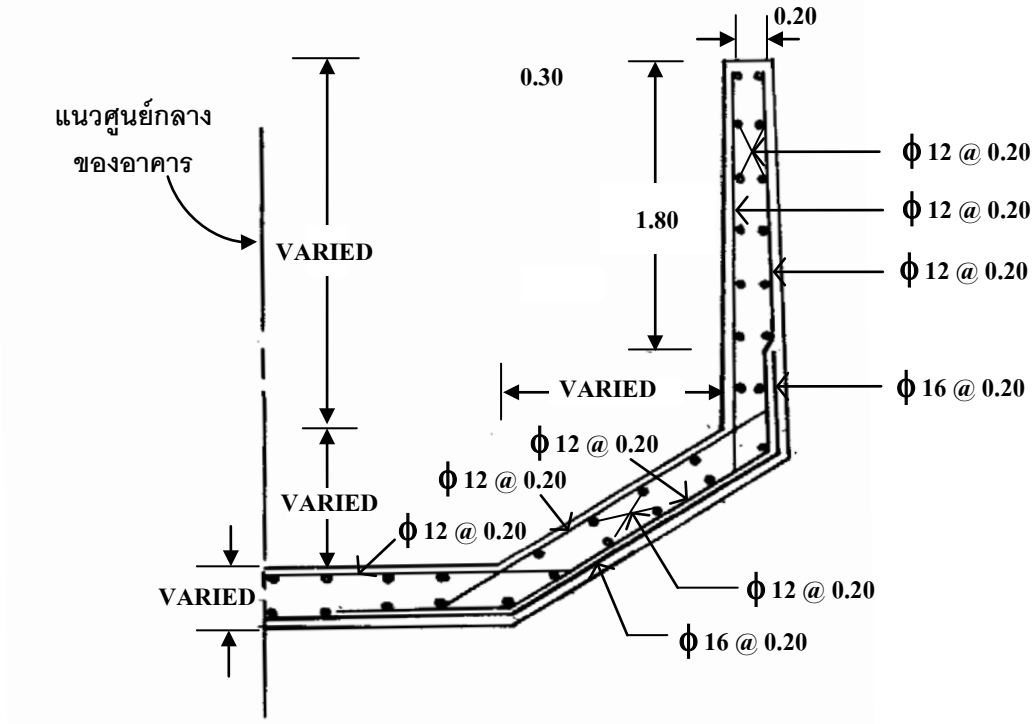
รูปที่ 1 HALF PLAN OF TRANSION



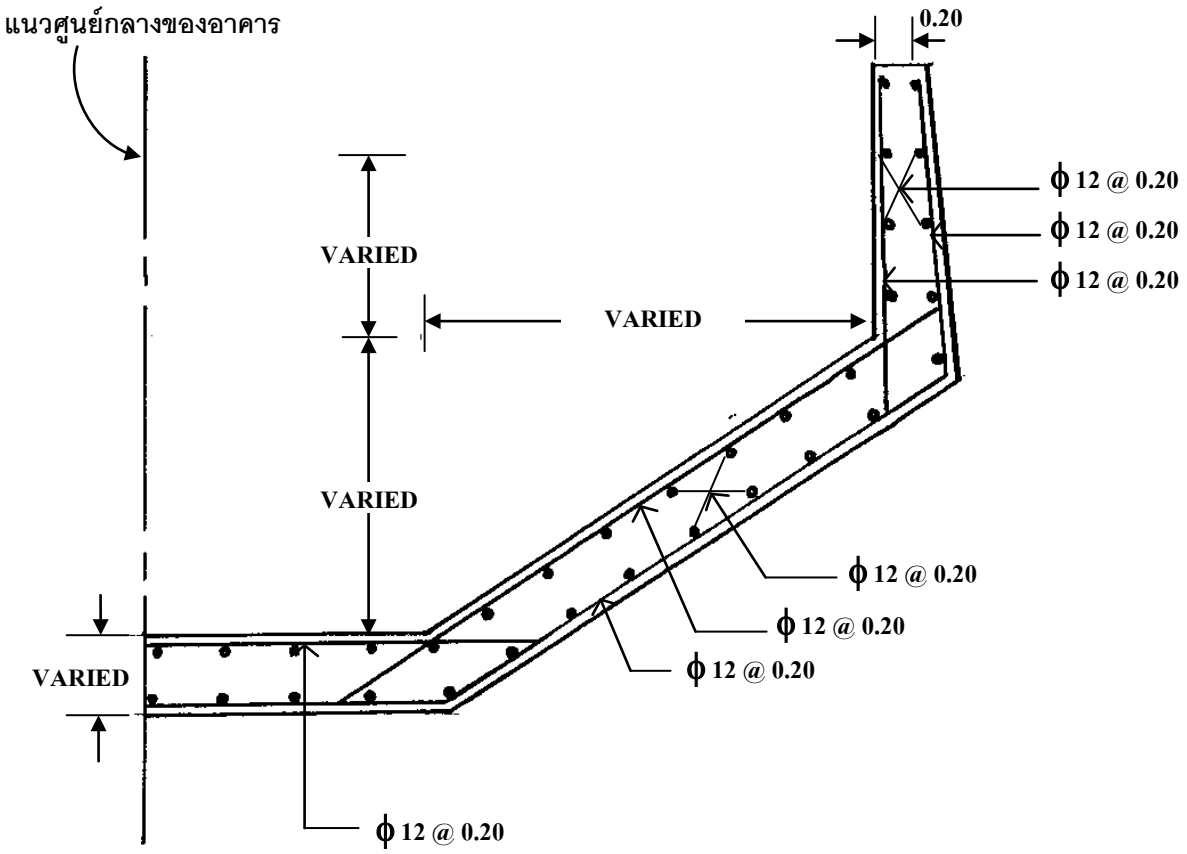
รูปที่ 2 SECTION A-A



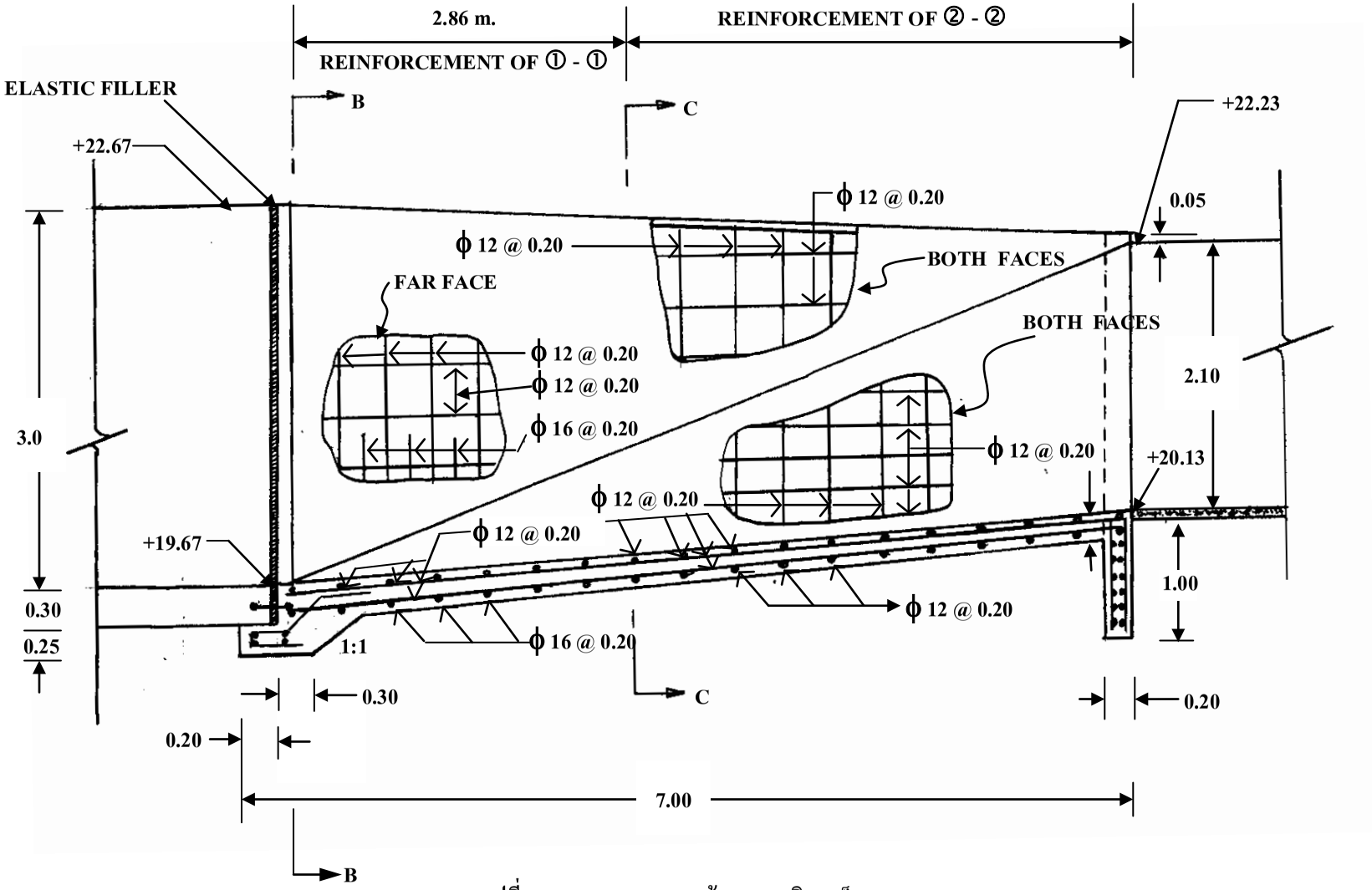
SECTION B-B



REINFORCEMENT OF ① - ①



REINFORCEMENT OF ② - ②



รูปที่ 3 SECTION A-A พร้อมการเสริมเหล็ก

ตัวอย่างการออกแบบ BENCH FLUME

จงออกแบบ BENCH FLUME ที่มีอัตราการไหล 15.20 cms. คลองดินรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำของ FLUME มีข้อมูลดังต่อไปนี้

b	=	5.00	m.
d	=	2.50	m.
A	=	21.875	$m.^2$
P	=	14.013	m.
R	=	1.561	m.
Side Slop		1 : 1.5	
n	=	0.025	
bed slope		1 : 6000	
V	=	0.695	m/s
Q	=	15.20	cms.
Allowable losses		0.35	m.

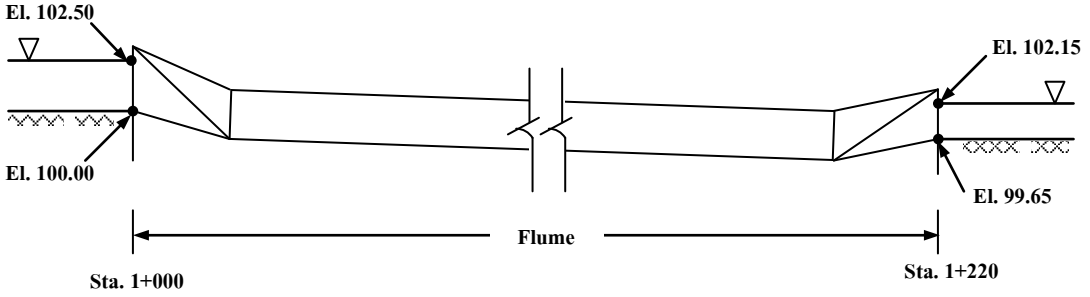
การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กให้ใช้ตามหลักการของ Working stress

$M_S = A_S.f_S.j.d$ โดย $f_s = 1{,}500$ กก.ซม.^{2} และ $j = 0.885$

$v_C = \frac{V}{b.d}$

$u = \frac{V}{\Sigma o.j.d}$

$M_C = R.b.d^2$ โดย $R = 11.995$



รูปที่ 1 Canal and structure profile

<u>วิธีทำ</u> สมมติ Vmax ใน flume = 3.0 m/s

$\therefore \quad A = \frac{Q}{V} = \frac{15.20}{3} = 5.067 \text{ m.}^2$

อัตราส่วน $\frac{b}{d}$ อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3

เลือกใช้ $\frac{b}{d} = 2$

$d = 2d$

$A = bd = 2d^2 = 5.067 \text{ m.}^2$

$\therefore \quad d = 1.592 \text{ m.}$

$b = 3.18 \text{ m.} \quad \text{use} \quad 3.20 \text{ m.}$

$\therefore \quad b \times d = 3.2 \times 1.6 = 5.12 \text{ m.}^2$

$V = \frac{15.20}{5.12} = 2.97 \text{ m/s.}$

จากสมการ Manning , n = 0.016 (ของ Flume)

$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{.....①}$

$R = \frac{5.12}{3.2 + 2(1.6)} = 0.8 \text{ m.}$

จากสมการที่ ①

$S^{1/2} = \frac{n\ V}{R^{2/3}}$

$= \frac{0.016 \times 2.97}{(0.8)^{2/3}} = 0.05514$

$S = 0.003041 = 1 : 328.84$

ความลาดเทท้อง Flume เท่ากับ 1:329 ซึ่งชันกว่า 1 : 500 ฉะนั้นเลือกใช้ใหม่โดย

กำหนดความลาดเทท้อง Flume 1 : 1,000

$b = 2d$

$A = 2d^2$

$P = 4d$

$R = \frac{A}{P} = \frac{2d^2}{4d} = \frac{d}{2}$

สมการ Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_O^{1/2}$$

$$\frac{15.20}{2d^2} = \frac{1}{0.016} \left(\frac{d}{2}\right)^{2/3} (1/1{,}000)^{1/2}$$

$$d^{8/3} = 6.104$$

$$d = 1.97 \text{ m.}$$

$$b = 2 \times 1.97 = 3.94 \text{ m.}$$ ใช้ 4.0 ม.

หา d ใหม่จากสมการ Manning

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_O^{1/2}$$

$$15.20 = \frac{1}{0.016} (4d) \left\{\frac{4d}{4+2d}\right\}^{2/3} (1/1{,}000)^{1/2}$$

จากวิธี trial และ error

$$d = 1.95 \text{ m.}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{15.2}{4 \times 1.95} = 1.95 \text{ m/s.}$$

ในกรณีที่ไม่สามารถกำหนดความลาดเทท้อง Flume ได้เอง ก็ต้องใช้ความลาดเทตามผิวดินที่แนว Flume จะต้องผ่านไป

Free board ของ Flume

$$F = 0.2 + 0.1d \quad \text{(Spce. ของ RID)}$$

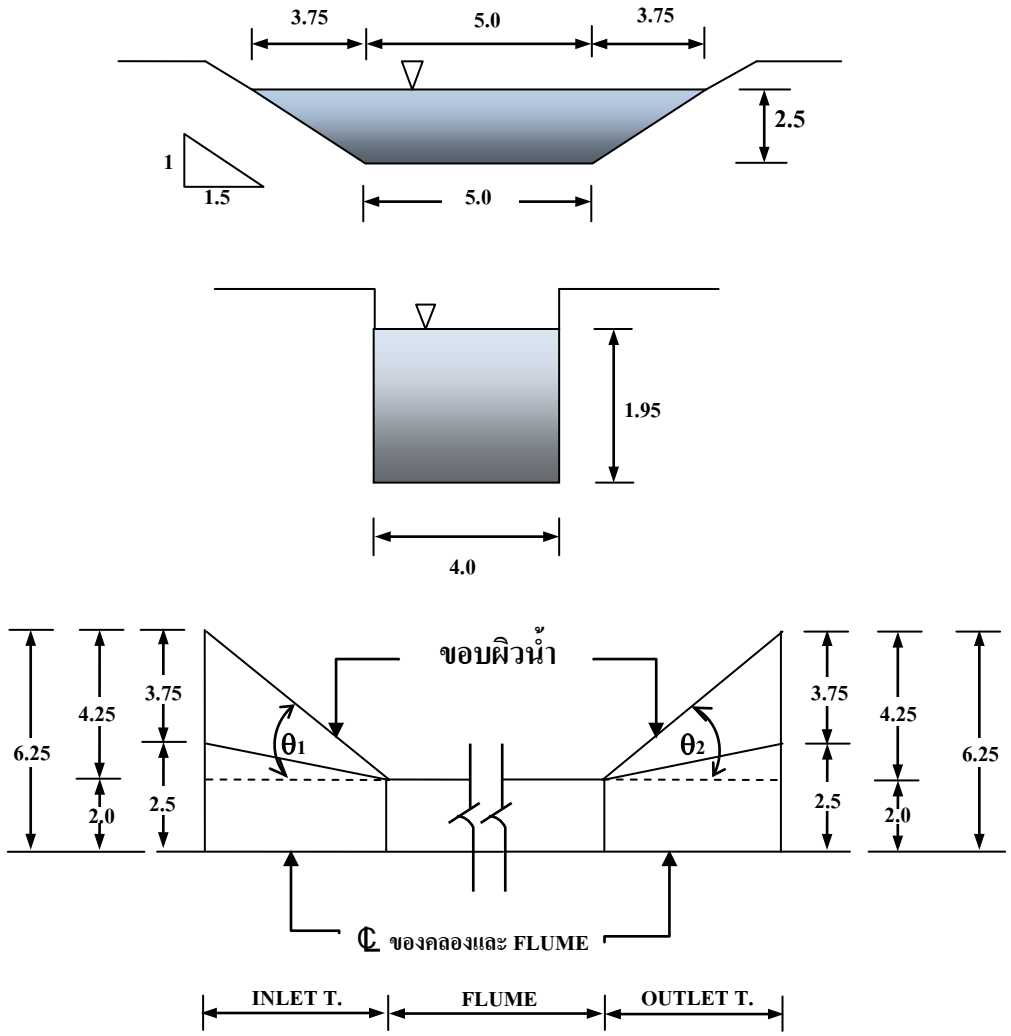
$$F = 0.2 + 0.1(1.95) = 0.395 \text{ m.}$$

$$d + F = 0.395 + 1.95 = 2.345$$ ใช้ 2.4 ม.

เลือกใช้ Broken – back transition โดย

Inlet Transition $\theta_1 = 27.5^o$ และ loss $= 0.3 \Delta hv$

Onlet Transition $\theta_2 = 22.5^o$ และ loss $= 0.5 \Delta hv$



รูปที่ 2 การหาความยาวของ Transition

Inlet Transition , L = $\frac{4.25}{\tan 27.5}$ = 8.16 ใช้ 9.0 ม.

Outlet Tansition, L = $\frac{4.25}{\tan 22.5}$ = 10.26 ใช้ 11.0 ม.

ระยะระหว่าง Sta 1 + 000 และ Sta 1 + 220

L = 1220 - 1000 = 220 ม.

ความยาว Flume, L_f = 220 - 11 - 9 = 200 ม.

Δhv = $\left(1.95^2 - 0.695^2\right)\frac{1}{2x9.81}$ = 0.169 ม.

Inlet Transition loss = 0.3 Δhv = 0.3(0.169) = 0.051 ม.

Oultet Transition loss = 0.5 Δhv= 0.086 ม.

Loss in flume = S_fL_f = S_oL_f

	=	$\frac{1}{1000}$ x 200	=	0.20	ม.	
Total loss	=	0.051 + 0.20 + 0.086	=	0.34	ม.	ใกล้เคียง 0.35 ม.

กรณี Broken-back transition

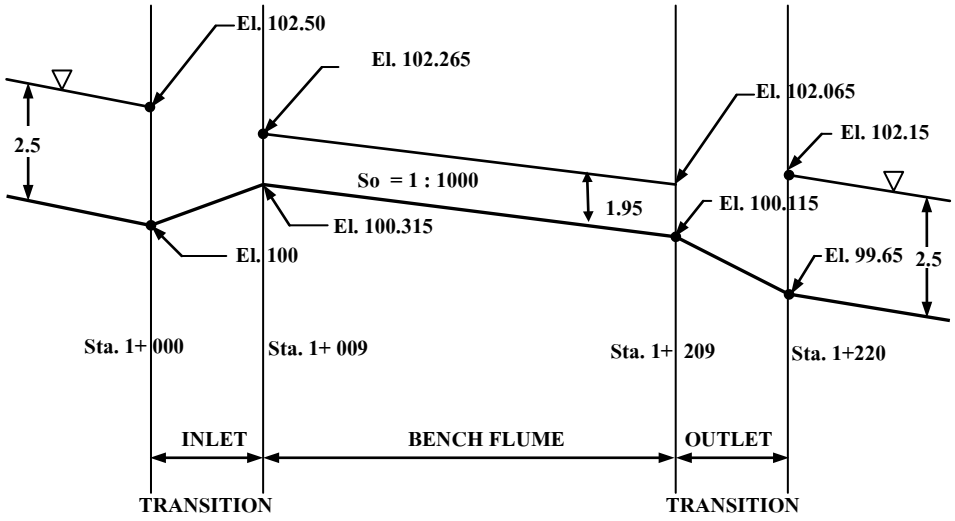
Inlet Transition จะมีระดับน้ำลดลง

ΔWS = 1.3 Δhv = 1.3(0.169) = 0.22 ม.

Outlet Transition จะมีระดับน้ำเพิ่มขึ้น

ΔWS = 0.5 Δhv = 0.5(0.169) = 0.085 ม.

ดูรายละเอียดได้จากเอกสารแนบท้ายตัวอย่าง



รูปที่ 3 Profile ของระดับพื้นและผิวน้ำของคลองและ Flume

ตรวจสอบความลาดเทของ Transition

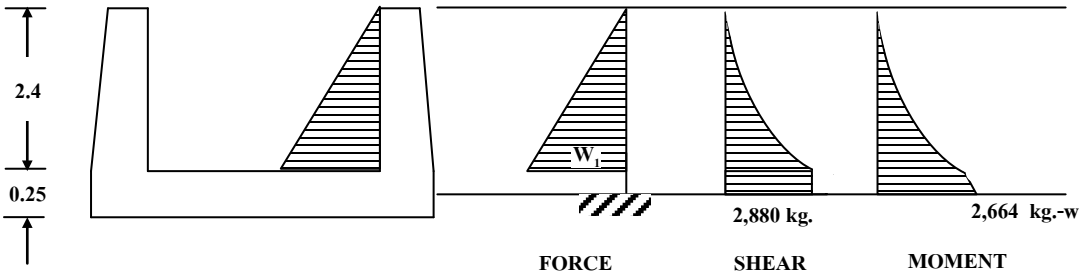
ความลาดเทของ Inlet transition = $\frac{100.315-100}{9}$ = 1:28.57 น้อยกว่า 1:6 **OK**

ความลาดเทของ Outlet transition = $\frac{100.115-99.65}{11}$ = 1:23.66 น้อยกว่า 1:6 **OK**

ออกแบบด้านโครงสร้าง พิจารณา Flume ยาว 1.00 m. และสมมติความหนาพื้น 0.25 เมตร

w_1	=	$\gamma_w h$	=	$2.4 \times 1{,}000$	=	2,400 kg/m
V_{max}	=	P	=	$\frac{1}{2}wh$	=	$0.5 \times 2400 \times 2.4$
					=	2,880 kg

$$M_{max} = 2{,}800\left(\frac{2.4}{3}+\frac{0.25}{2}\right) = 2{,}664 \text{ kg-m}$$



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ SHEAR และ MOMENT ที่กำแพง

$$d_m = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{2{,}664\times100}{11.995\times100}} = 14.9 \text{ ซม.}$$

$$d_v = \frac{V}{v_c b} \text{ (โดย } v_c = 3.8 \text{ ksc)}$$

$$= \frac{2{,}880}{3.8\times100} = 7.60 \text{ ซม.}$$

ฉะนั้นเลือกใช้ความหนาของโคนกำแพง = 20 ซม. โดย

d = 15 ซม.

และ covering = 5 ซม.

กรณีนี้ใช้กำแพงมีความหนาเท่ากันตลอด

ออกแบบพื้นวิเคราะห์กรณี flume ไม่มีน้ำ

นน.กำแพง $= 2\ (0.2\times2.4\times1.0)\times2{,}400$

$= 2{,}304$ kg

นน.แผ่ใต้ฐาน, $w_2 = \frac{2{,}304}{4.40} = 523.64$ kg/m

$$V_{max} = 523.64\times\frac{4.2}{2} = 1099.64 \text{ kg.}$$

M_{max} อยู่กลาง flume

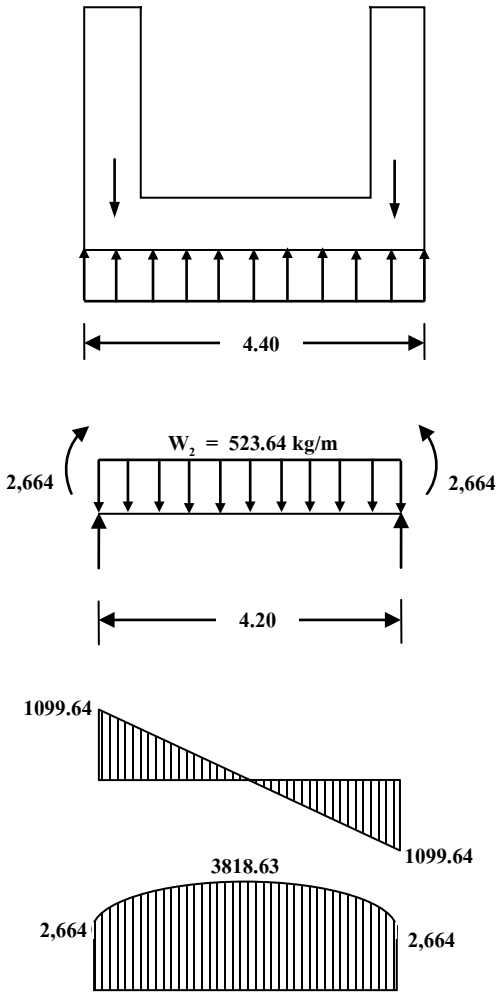
$$= w_2\frac{l^2}{8} + 2{,}664 = 523.64\times\frac{4.2^2}{8}+2{,}664$$

$M_{max} = 1154.63 + 2{,}664$

$= 3818.63$ kg-m

$$d_m = \sqrt{\frac{3818.63\times100}{11.995\times100}} = 17.84 \text{ ซม.}$$

$$d_v = \frac{1099.64}{3.8\times100} = 2.89 \text{ ซม.}$$



รูปที่ 5 การวิเคราะห์แรง SHEAR และ MOMENT ที่พื้นของ BENCH FLUME

ฉะนั้นเลือก ใช้ความหนาพื้น = 25 ซม. โดย

d = 20 ซม.

covering = 5 ซม.

เสริมเหล็กในกำแพงผิวใน

A_s ที่โคนกำแพง $= \dfrac{M}{f_s \cdot j \cdot d}$

$= \dfrac{2,664 \times 100}{1500 \times 0.885 \times 15}$

$= 13.38$ ซม.^{2}

เหล็กเสริมรับอุณหภูมิ พิจารณา 0.2% ของหน้าตัด

$A_{st} = 0.002 \times 20 \times 100 = 4$ ซม.^{2}

พิจารณาเหล็กเสริมที่ระดับ 1.40 ม. จากยอดกำแพงเพื่อลดปริมาณเหล็กที่กำแพง จากรูปที่ 4

$w = 1.4 \times 1{,}000 = 1{,}400$ kg/m

$M = \left(\frac{1}{2}wl\right)\frac{l}{3}$

$= 0.5 \times 1{,}400 \times 1.4 \times \frac{1.4}{3}$

$= 457.33$ kg-m

$A_s = \frac{457.33 \times 100}{1{,}500 \times 0.885 \times 15} = 2.30$ ซม.^{2} น้อยกว่า A_{st}

ซึ่งน้อยกว่า A_{st} ฉะนั้นใช้เหล็กจำนวน 4 ซม.^{2}

เลือกขนาดเหล็กที่กำแพง

- ผิวด้านในตั้งแต่ยอดกำแพงถึงระดับ 1.40 เมตร

$A_s = A_{st} = 4.0$ ซม.^{2}

เลือกเหล็ก 12 mm @ 0.28 มี $A_s = 4.04$ ซม.^{2} และ $\Sigma o = 13.46$ ซม.

ตั้งแต่ระดับ 1.40 เมตรถึงโคนกำแพง ขาดเหล็กอยู่

$A_{s\text{ที่ขาด}} = 13.38 - 4.04 = 9.34$ ซม.^{2}

เลือกเหล็ก 20 mm @ 0.28 โดยมี

$A_s = 11.22$ ซม.^{2} และ $\Sigma o = 22.44$ ซม.

สรุปเหล็กผิวในที่กำแพง ตั้งแต่ระดับ 1.40 เมตร ถึง โคนกำแพง

12 mm @ 0.28 มี	A_s =	4.04	และ	Σo =	13.46
20 mm @ 0.28 มี	A_s =	11.22	และ	Σo =	22.44
รวม	A_s =	15.26	และ	Σo =	35.90

ซึ่ง $A_s = 15.26$ ซม.^{2} มากกว่า 13.38 แสดงว่าเหล็กมีปริมาณเพียงพอ

ตรวจสอบแรงยึดหน่วง (Bond stress) ที่โคนกำแพง

สำหรับเหล็กรับแรงดึงที่มีขนาด 20 mm (กรณีเหล็กอื่นๆ)

Bond stress ต้องไม่เกิน 21.4 กก./ซม.^{2} หรือ ksc

$u = \frac{V}{\Sigma o.j.d}$

$= \frac{2{,}880}{35.90 \times 0.885 \times 15} = 6.04 < 21.4$ ksc **OK**

เหล็กเสริมที่พื้นผิวบน

A_s ที่กลางพื้น = $\frac{3818.63\times100}{1500\times0.885\times20}$ = 14.38 ซม.^{2}

A_s ที่ขอบปลาย = $\frac{2664\times100}{1500\times0.885\times20}$ = 10.03 ซม.^{2}

ฉะนั้นเลือกใช้เหล็ก ดังนี้

12 mm @ 0.28
20 mm @ 0.28 } A_s = 15.26 ซม.^{2} และ Σo = 35.9 ซม.

ตรวจสอบ Bond stress ที่ขอบปลายของพื้น (ติดกำแพง)

$u = \frac{1099.64}{35.9\times0.885\times20}$ = 1.73 < 15.1 ksc **OK**

เหล็กเสริมที่กำแพงผิวนอกเป็นเหล็กรับอุณหภูมิ A_{st} คือ

12 mm @ 0.28 มี A_s = 4.04 ซม.^{2} > 4 ซม.^{2} **OK**

เหล็กเสริมที่พื้นผิวล่างเป็นเหล็กรับอุณหภูมิ

$A_{st} = 0.002 \times 25 \times 100$ = 5 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็ก

12 mm @ 0.22 มี A_s = 5.14 ซม.^{2} > 5 ซม.^{2} **OK**

เปลี่ยนเหล็กรับอุณหภูมิที่ผิวนอกของกำแพงเป็น

12 mm @ 0.22 เพื่อให้สะดวกและง่ายในการก่อสร้าง

เหล็กรับอุณหภูมิที่เป็นเหล็กจุดที่กำแพงยังคงใช้

12 mm @ 0.28

เหล็กรับอุณหภูมิที่เป็นเหล็กจุดที่พื้นใช้

12 mm @ 0.22

ตรวจสอบ Bearing ของฐาน พิจารณากรณีที่น้ำเต็ม flume

Bearing load = $\frac{\text{นน. Flume + นน.น้ำ}}{\text{ความกว้างของ flume}}$

นน.ของ flume = $2(2.4 \times 0.2 \times 1.0)\ 2400 + (4.4 \times 0.25 \times 1.0)\ 2400$

= $2304 + 2640$ = 4944 kg/1 m.

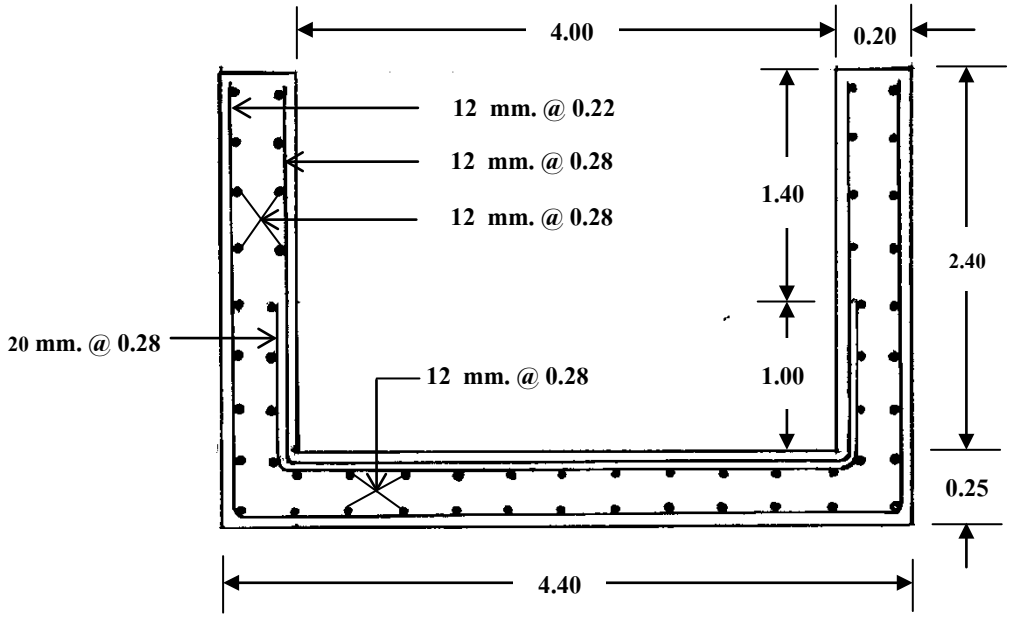
นน. น้ำเต็ม flume = $(4 \times 2.4 \times 1)1000$ = 9600 kg/1 m.

Bearing load = $\frac{4944+9600}{4.4\times1.0}$ = 3305.45 kg/m^2

= 3.305 Ton/ m^2

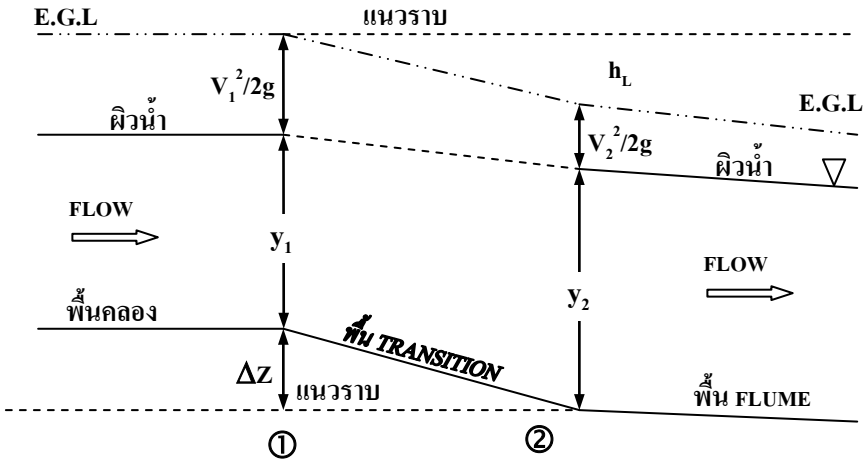
Bearing load ต้องไม่เกิน Bearing capacity ของดิน

กรณี Bearing load เกิน Bearing Capacity ของดินอาจจะต้องตอกเข็มรองรับ flume หรืออาจจะพิจารณาขยายความกว้างของ flume กรณีที่มีการตอกเสาเข็ม การวิเคราะห์ด้านโครงสร้างของพื้นจะเปลี่ยนไป ขอให้ไปดูรายละเอียดในวิชา foundation หรือดูตัวอย่างการวิเคราะห์จากตัวอย่างของประตูระบายน้ำปากคลอง



รูปที่ 6 แสดงการเสริมเหล็กหน้าตัด FLUME

INLET TRANSITION



ใช้หลักการของการอนุรักษ์พลังงานระหว่างหน้าตัด ① และ ②

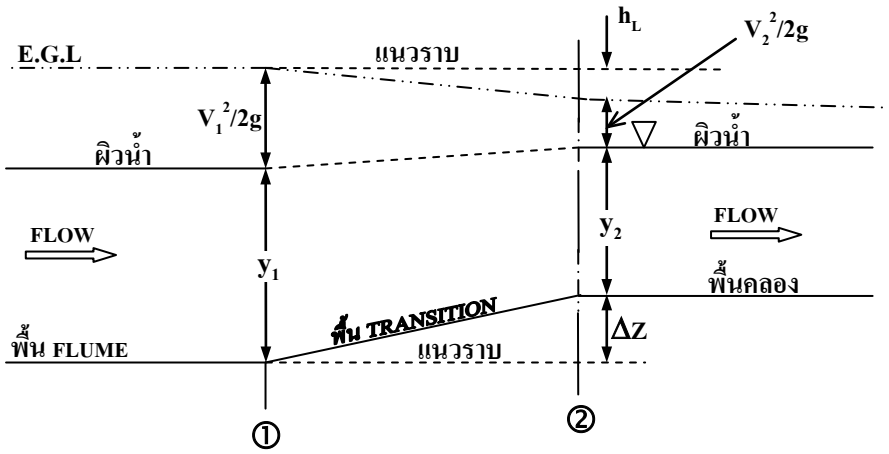
$$\Delta z + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

$$(\Delta z + y_1) - y_2 = \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right) + h_L$$

$$y_2 - (\Delta z + y_1) = -\Delta h_v - 0.3\,\Delta h_v = -1.3\,\Delta h_v$$

แสดงว่าระดับน้ำที่หน้าตัด ② ต่ำกว่าระดับน้ำที่หน้าตัด ① อยู่เท่ากับ $1.3\,\Delta h_v$

OUTLET TRANSITION



ใช้หลักการของการอนุรักษ์พลังงานระหว่าง ① และ ②

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \Delta z + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

$$\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} - h_L = (\Delta z + y_2) - y_1$$

$$(\Delta z + y_2) - y_1 = \Delta h_v - 0.5\Delta h_V = +0.5\,\Delta h_v$$

แสดงว่าระดับน้ำที่หน้าตัด ② สูงกว่าระดับน้ำที่หน้าตัด ① อยู่เท่ากับ $0.5\,\Delta h$

การออกแบบรางน้ำรูปตัวยูฝังดิน

อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกี่ยวข้องกับ Spillway ได้แก่ อาคารรับน้ำ กำแพงกันดิน และสะพาน คสล. เพื่อให้ได้อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงกระทำต่างๆ จากภายนอก จึงได้จัดทำเกณฑ์การคำนวณออกแบบทางโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยกำหนดตามมาตรฐาน ACI–Code (318–77) มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยและมาตรฐานกรมชลประทาน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติคอนกรีตและเหล็กเสริม

คุณสมบัติของคอนกรีตเสริมเหล็ก และเหล็กเสริมคอนกรีตที่จะใช้ในการคำนวณขนาดของโครงสร้างของอาคารต่างๆ ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น กำหนดให้มีคุณสมบัติดังนี้

เหล็กเสริม	f_s	=	1,500.00	กก./ ซม.^{2}	
คอนกรีต	f_c'	=	175.00	กก./ ซม.^{2}	
	f_c	=	$0.45\, f_c'$		
		=	78.75	กก./ ซม.^{2}	
	n	=	E_s / E_c		
		=	$2.04\times10^6 / (15{,}210\sqrt{f_c'})$		
		=	10.138		
	k	=	$n / (n + f_s / f_c)$		
		=	0.347		
	j	=	$1 - \frac{k}{3}$	= 0.884	
	R	=	$0.5\, f_c\, j.k$	= 12.078	กก./ ซม.^{2}
	vc	=	$0.292\sqrt{f_c'}$	= 3.86	กก./ ซม.^{2}
			(สำหรับคาน คสล. ไม่มีเหล็กรับแรงเฉือน)		
		=	$0.53\sqrt{f_c'}$	= 7.01	กก./ ซม.^{2}
			(สำหรับแผ่นพื้นหรือฐานราก)		
ระยะหุ้มเหล็กเสริม		=	5 ซม. สำหรับผิวสัมผัสอากาศ		
		=	8 ซม. สำหรับผิวติดดินหรือหิน		

2. <u>เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติเหล็กรูปพรรณและการเชื่อม</u>

สำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ที่จะนำมาใช้เป็นโครงสร้างของอาคารต่างๆ นั้น (ถ้ามี)กำหนดให้ใช้เหล็กชนิด A36 ตามมาตรฐาน ASTM โดยมีค่า fy = 2,450 กก./ซม.^{2} และมีค่า fs ไม่เกิน 0.6 fy หรือเท่ากับ 1,526 กก./ซม.^{2} สำหรับการเชื่อมเหล็กรูปพรรณในงานต่างๆ จะใช้ลวดเชื่อมชนิด E37 ตามมาตรฐาน ASTM โดยรับแรงได้ไม่น้อยกว่า 1,040T กก./ซม. เมื่อ T เป็นขนาดของการเชื่อมเป็นเซนติเมตร

3. <u>เกณฑ์กำหนดหน่วยน้ำหนักที่จะใช้ในการคำนวณแรงกระทำกับอาคาร</u>

Surcharge Load	=	500	กก./ ม.^{2}
น้ำหนักน้ำ	=	1,000	กก./ ม.^{3}
น้ำหนักดินแห้ง	=	1,800	กก./ ม.^{3}
น้ำหนักดินอิ่มตัว	=	2,100	กก./ ม.^{3}
น้ำหนักคอนกรีตล้วน	=	2,300	กก./ ม.^{3}
น้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก	=	2,400	กก./ ม.^{3}
น้ำหนักหิน	=	2,600	กก./ ม.^{3}
น้ำหนักทรายแห้ง	=	1,700	กก./ ม.^{3}
น้ำหนักทรายเปียก	=	1,900	กก./ ม.^{3}
น้ำหนักเหล็ก	=	7,900	กก./ ม.^{3}

ดินฐานรากต้องรับน้ำหนักปลอดภัยสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 15 ตัน/ ม.^{2}

4. <u>เกณฑ์กำหนดเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมกันแตกร้าว</u>

เหล็กเสริมหลักจะต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะต้านทางโมเมนต์ที่เกิดจากแรงภายนอกได้โดยระยะห่างของเหล็กเสริมหลักไม่ควรน้อยกว่า 0.10 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้มีความง่ายความสะดวกในการก่อสร้าง ระยะการทาบเหล็กและฝังเหล็กเพื่อให้มีระยะยึด (Anchorage) พอเพียงจะต้องไม่น้อยกว่า 24 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กสำหรับเหล็กข้ออ้อย และ 48 เท่าสำหรับเหล็กเส้นกลม

เหล็กเสริมกันร้าวให้ใช้ดังนี้.-

Ast = 0.002 bt สำหรับเหล็กเสริม 2 ชั้น .....(1)

และ Ast = 0.0025 bt สำหรับเหล็กเสริมชั้นเดียว .....(2)

โดยที่ Ast = ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว เป็นตารางเซนติเมตร

b = ความกว้างของอาคารที่พิจารณา เป็นเซนติเมตร.

= ปกติคิดความกว้าง 100 เซนติเมตร

t = ความหนาของอาคารที่พิจารณา เป็นเซนติเมตร

สำหรับเหล็กเสริมกันร้าวในอาคารชลศาสตร์ขนาดใหญ่ควรใช้เหล็กที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 12 มม.

5. <u>เกณฑ์กำหนดการคำนวณกำแพงกันดินรูปตัวยู</u> (U-Shape Retaining Wall)

กำแพงกันดินรูปตัวยูที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของ Chute โดยมีดินถมข้างกำแพงกันดินทั้งสองข้างต่ำกว่าระดับหลังกำแพง 0.90 เมตร ควบคุมให้ระดับน้ำใต้ดินขึ้นสูงกว่าผิวบนของพื้น Chute ประมาณ 1.00 เมตร ตามเกณฑ์การควบคุมการระบายน้ำใต้ดินที่ได้กล่าวไว้แล้วจากสภาพดังกล่าวทำให้อาคารนี้มีแรงกระทำต่างๆ ได้แก่แรงดันดินด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำใต้พื้นอาคาร (Uplift Pressure) เป็นต้นการออกแบบอาคารชนิดนี้จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงต่างๆ ข้างต้นได้ สำหรับขนาดของอาคารพอจะกำหนดเป็นแนวทางเบื้องต้นได้ดังนี้

5.1 ความหนาหลังกำแพงกันดินจะต้องหนาไม่น้อยกว่า 0.20 เมตร

5.2 ความหนากำแพงกันดินที่พื้นและความหนาพื้นต้องหนาพอที่จะไม่ทำให้ระยะห่างของเหล็กเสริมหลักมีค่าน้อยกว่า 0.10 เมตร

การคำนวณแรงต่างๆ ที่กระทำกับตัวอาคารซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 1 จะคำนวณได้ดังนี้

5.3 การคำนวณความหนากำแพงและเหล็กเสริม

<u>ลำดับที่</u>	<u>แรงตามแนวราบ</u>	<u>ระยะห่างของแรง จากจุด A</u>	<u>Moment ที่จุด A</u>	<u>Shear จุด A</u>
(i)	(Pi)	(ai)	(Mi)	(Vi)
1	$P1 = S.H3.Ka$	H3/2	P1.a1	P1
2	$P2 = 0.5\,\gamma_m H2^2.Ka$	H2/3 + H4	P2.a2	P2
3	$P3 = \gamma_m.H2.Ka.H4$	H4/2	P3.a3	P3
4	$P4 = 0.5\gamma sub.H4^2.Ka$	H4/3	P4.a4	P4
5	$P5 = 0.5\gamma w.H\frac{2}{4}$	H4/3	P5.a5	P5

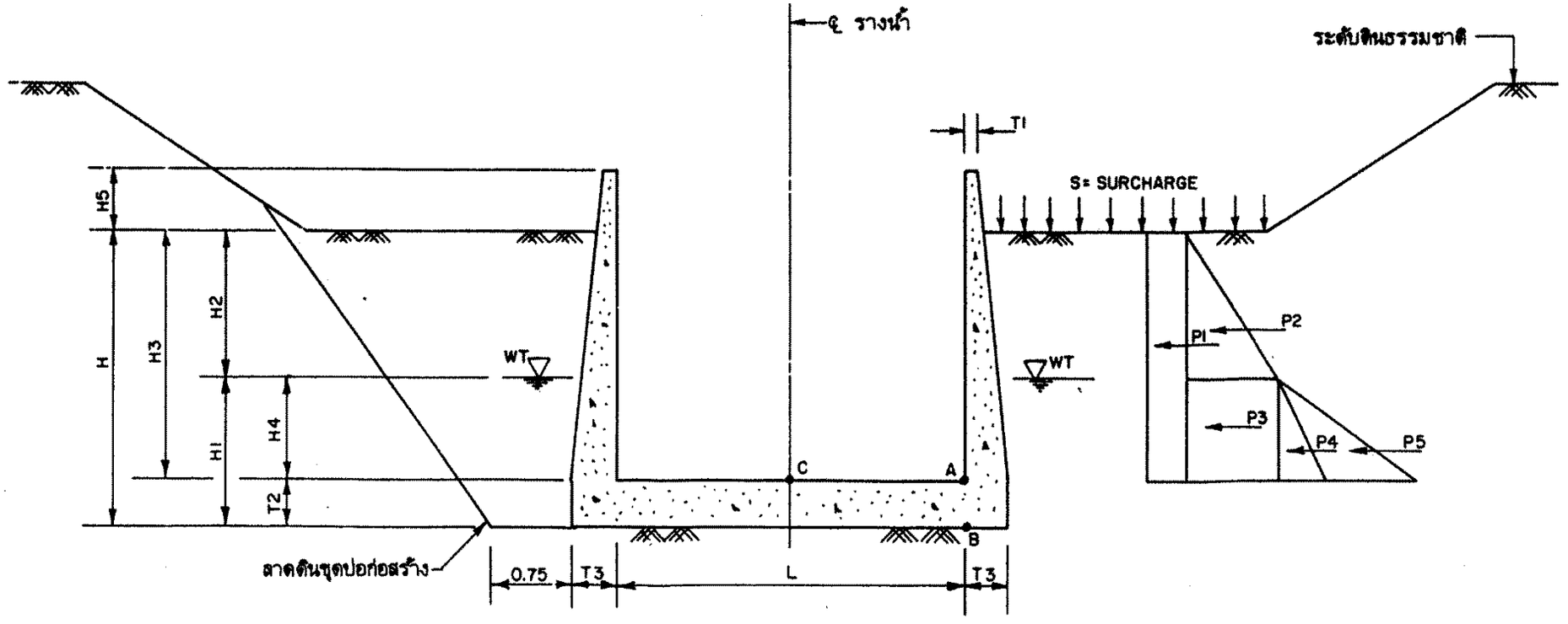
โดยที่	P1	=	แรงเนื่องจาก Surcharge load	ตัน/ ม.
	P2, P3, P4	=	แรงดันดินในสภาวะต่างๆ	ตัน/ ม.
	P5	=	แรงดันน้ำใต้ดิน	ตัน/ ม.
	S	=	Surcharge load = 0.5	ตัน/ ม.^{2}
	γ_m	=	Unit Weight of Moist Soil = 2.0	ตัน/ ม.^{3}
	γs	=	Unit Weight of Saturated Soil	ตัน/ ม.^{3}
		=	2.10	
	γsub	=	Unit Weight of Submerged Soil	ตัน/ ม.^{3}
		=	$(\gamma s - \gamma w)$ = 1.10	
	γw	=	Unit Weight of Water = 1.00	ตัน/ ม.^{3}
	Ka	=	Active Earth Pressure Coefficient	
		=	$\tan^2 (45 - \theta/2)$	
	θ	=	Angle of Friction of Soil เป็นองศา	
		=	30 องศา (สำหรับ Granular Soil)	
	H	=	ความลึกดินถมข้างอาคารจากผิวล่างของพื้นรางน้ำ เป็นเมตร	
	H1	=	ความลึกน้ำใต้ดินจากผิวล่างของพื้นรางน้ำ เป็นเมตร	
	H2	=	ระยะจากผิวดินถมถึงระดับผิวน้ำใต้ดิน เป็นเมตร	
	H3	=	ความลึกดินถมถึงระดับผิวบนพื้นรางน้ำ เป็นเมตร	
	H4	=	ความลึกน้ำใต้ดินถึงระดับผิวบนพื้นรางน้ำ เป็นเมตร	
	ai	=	ระยะที่แรง Pi กระทำห่างจากจุด A ตามแนวดิ่ง เป็นเมตร	

ดูรายละเอียดจากรูปที่ 1

โมเมนต์ที่จุด A; MA = $\sum_{i=i}^{5} Pi.a$ ตัน–ม./ ม. .....(3)

แรงเฉือนรวมที่จุด A; VA = $\sum_{i=1}^{5} Pi$ ตัน/ ม. .....(4)

การคำนวณหาความหนากำแพงกันดินที่จุด A และเหล็กเสริมในกำแพงที่ความสูงต่างๆ กัน จะคำนวณได้ดังนี้.-



รูปที่ 1 แสดงรูปตัดรางน้ำ และกำแพงกันดินรูปตัวยู และแรงที่กระทำกับอาคารเพื่อกำหนดความหนากำแพง

dm = $\sqrt{MA \times 1000 / R}$ ซม. .....(5)

dv = VA×10/vc ซม. .....(6)

As = MA×1000×100/(fs.jd) ซม.^{2} .....(7)

โดยที่ dm = ความหนาประสิทธิผลของคอนกรีตเพื่อต้านทานโมเมนต์

dv = ความหนาประสิทธิผลของคอนกรีตเพื่อต้านทานแรงเฉือน

R = 12.078 กก./ ซม.^{2}

vc = หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ กก./ ซม.^{2}

= 3.86

fs = 1,500 กก./ ซม.^{2}

j = 0.884

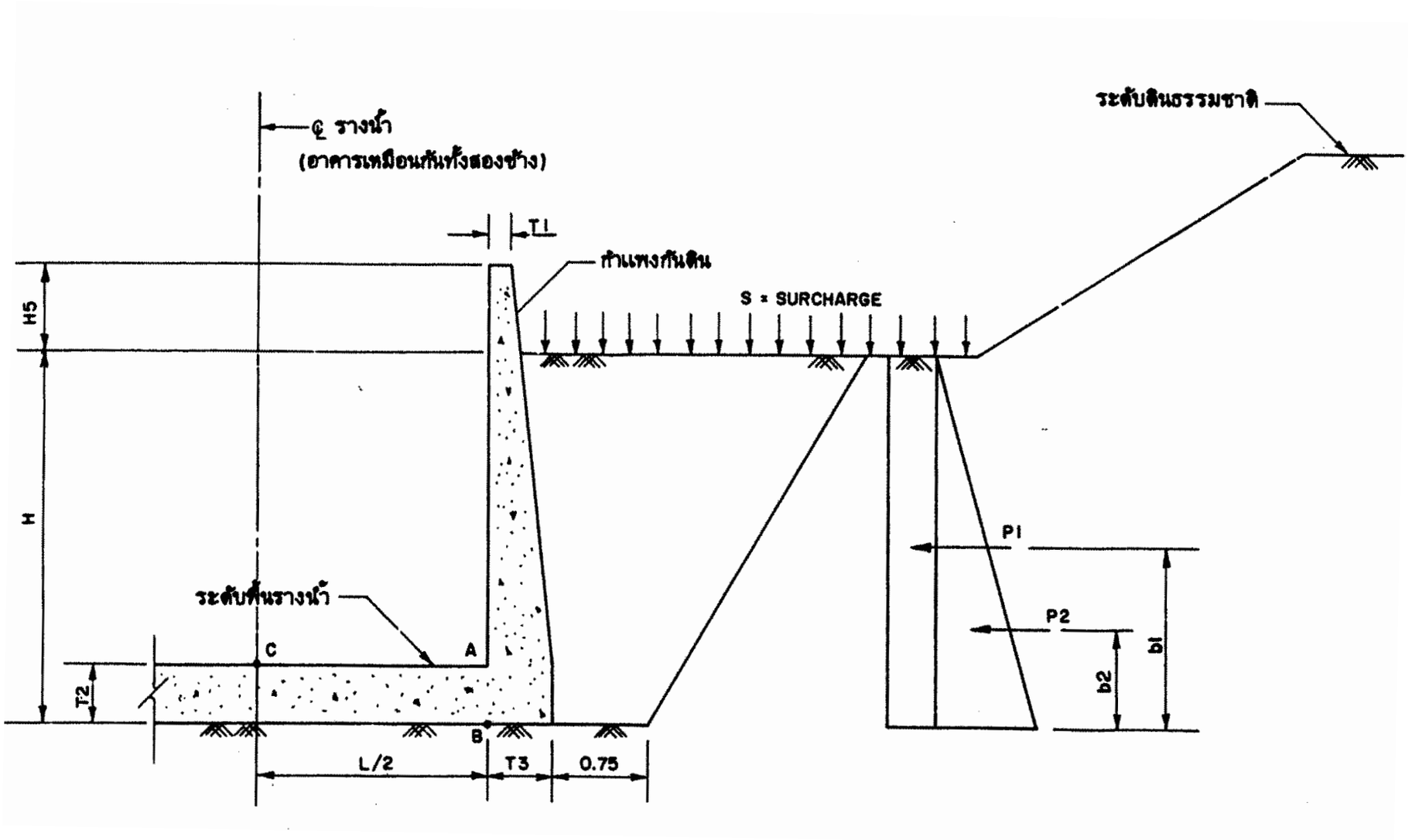
d = ความหนาประสิทธิผล (เป็น ซม.) ของกำแพงกันดินที่นำมาใช้จริง ซึ่งจะมีค่ามากกว่า dm และ dv ทั้งนี้จะต้องให้หนาพอที่จะทำให้เหล็กเสริมหลักมีระยะห่างกันไม่น้อยกว่า 0.10 เมตร

การคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมหลักในกำแพง ที่ระยะความสูงต่างๆ เพื่อลดปริมาณเหล็กเสริมให้น้อยลง จะคำนวณได้โดยใช้วิธีเดียวกับการคำนวณขนาดเหล็กเสริมหลักที่จุด A ดังได้กล่าวมาแล้ว

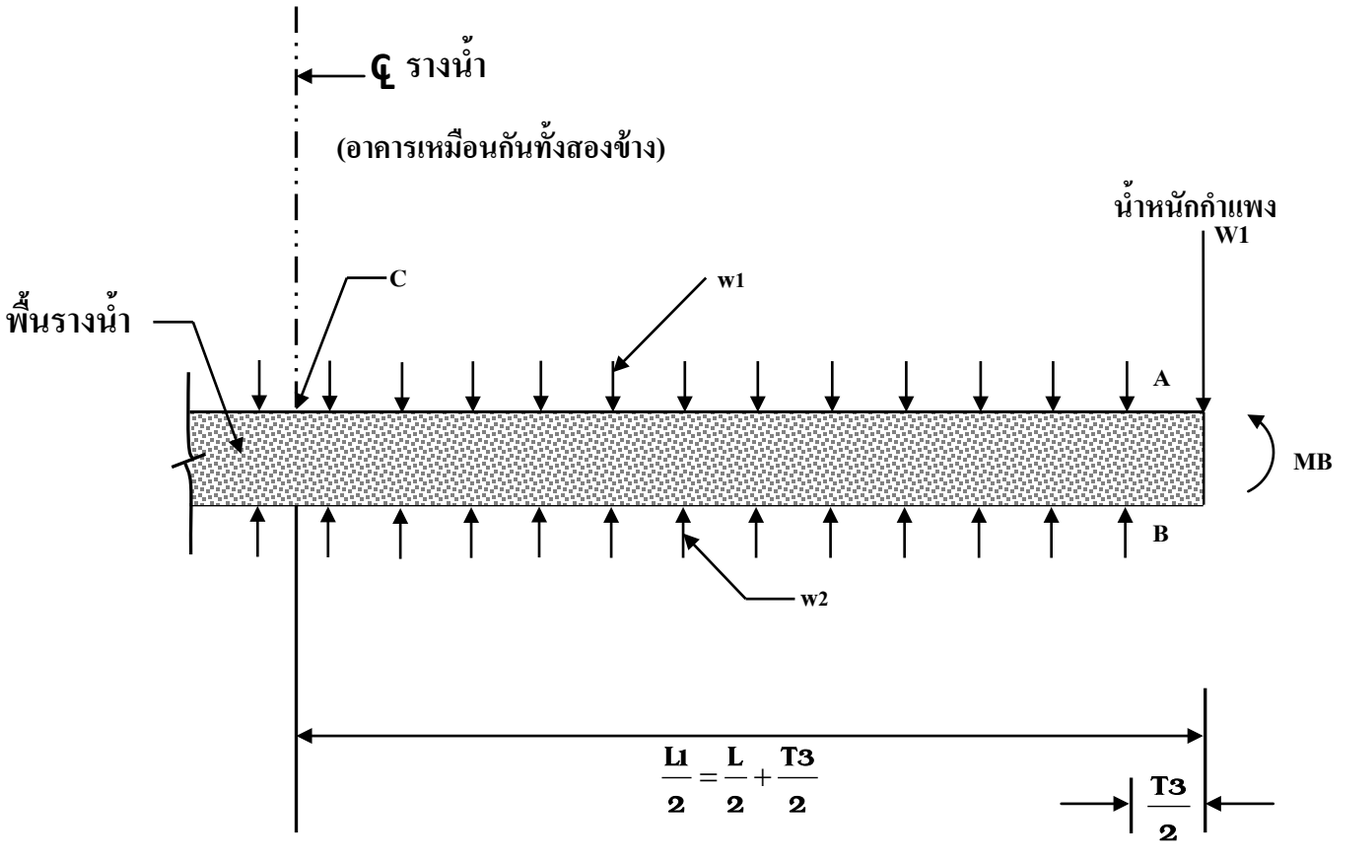
5.4 การคำนวณความหนาพื้นรางน้ำ จะต้องต้านทานโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันดินด้านข้าง แรงดันน้ำใต้ดิน และแรงเฉือนที่เกิดจากแรงต่างๆ ได้ ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

<u>กรณีที่ 1 ไม่มีแรงดันน้ำใต้ดิน</u> (ดูรูปที่ 2 และ 3)

<u>ลำดับที่</u>	<u>แรงตามแนวราบ</u>	<u>ระยะห่างของแรงจากจุด B</u>	<u>Moment ที่จุด B</u>	<u>Shear จุด B</u>
(i)	(Pi)	(bi)	(Mi)	(VB)
1	P1 = S.H.Ka	H/2	P1.b1	
2	P2 = 0.5γm H2^{2}Ka	H/3	P2.b2	W1



รูปที่ 2 แสดงแรงกระทำกับกำแพงกันดินรูปตัวยู เพื่อคำนวณความหนาพื้น กรณีไม่มีน้ำใต้ดิน



รูปที่ 3 แสดงแรงกระทำกับพื้นรางน้ำ เพื่อกำหนดความหนาพื้น

โมเมนต์ที่จุด B; $MB = \sum_{i=1}^{2} Pi.bi$ .....(8)

แรงเฉือนที่จุด B; $VB = W1 + w1.\frac{T3}{2} - w2.\frac{T3}{2}$

โมเมนต์ที่จุด C; $MC = MB+(w2-w1)(0.5L1)^2/2-W1.L1/2$ .....(9)

แรงเฉือนที่จุด C; $Vc = w1 + w1.L1/2 - w2.L1/2$ .....(10)

โดยที่

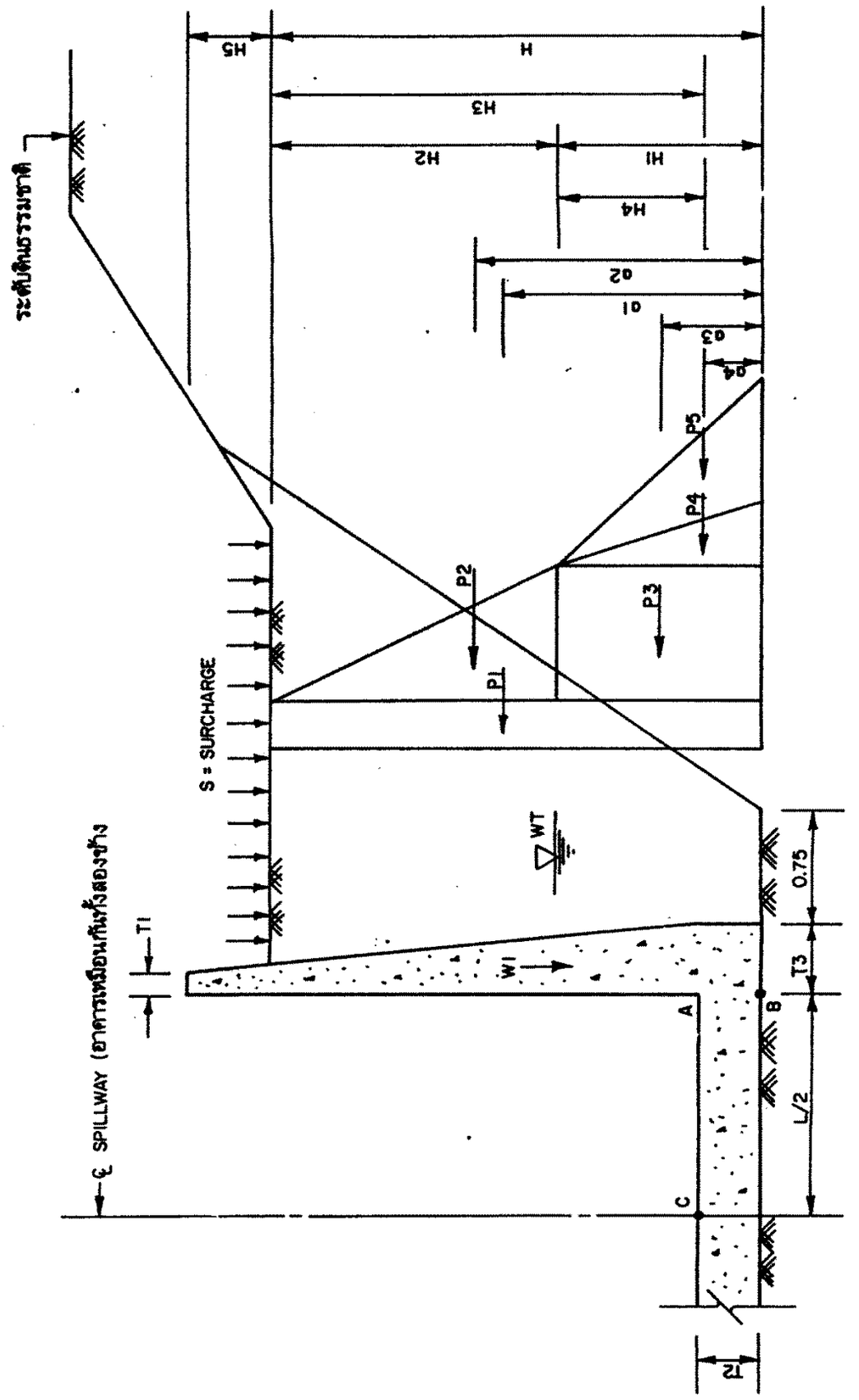
	W1	=	น้ำหนักกำแพงกันดิน	ตัน
	w1	=	น้ำหนักพื้น คสล.	ตัน/ ม.^{2}
	w2	=	น้ำหนักกระทำใต้ฐาน	ตัน/ ม.^{2} $<$ 15 ตัน/ ม.^{2}
	L	=	ความกว้างรางน้ำ	เมตร
	bi	=	ระยะที่แรง Pi กระทำห่างจากจุด B ตามแนวดิ่ง เป็นเมตร	
	γm	=	Unit Weight of Moist Soil	ตัน/ ม.^{3}
		=	2.0	

ตัวแปรอื่นๆ ให้ดูจากรูปที่ 1

<u>กรณีที่ 2 มีแรงดันน้ำใต้ดิน</u> (ดูรูปที่ 4)

<u>ลำดับที่</u>	<u>แรงตามแนวราบ</u>	<u>ระยะทางของแรง</u>
(i)	(Pi)	(ai)
1	P1 = S.H.Ka	H/2
2	P2 = 0.5 γ_m.H2^2.Ka	H2/3+H1
3	P3 = γ_m.H2.Ka.H_1	H1/2
4	P4 = 0.5 γsub.H1^2.Ka	H1/3
5	P5 = 0.5 γw.H1^2	H1/3

โมเมนต์ที่จุด B; $MB = \sum_{i=1}^{5} Pi.ai$ .....(11)



รูปที่ 4 แสดงแรงกระทำกับกำแพงกันดินรูปตัวยู เพื่อคำนวณความมั่นคงของกำแพงกันดิน กรณีมีแรงดันน้ำใต้ดิน

โมเมนต์ที่จุด C; $MC = [MB+w2.(0.5L1)^2/2 - w1.(0.5L1)^2/2 - W1.L1/2]$ .....(12)

$$VB = W1 + w1.\frac{T3}{2} - w2.\frac{T3}{2} \quad \text{.....(13)}$$

$$VC = W1 + w1.L1/2 - w2.L1/2 \quad \text{.....(14)}$$

โดยที่ Pi = แรงตามแนวราบจากดินและน้ำกระทำกับกำแพง ตัน/ ม.

ai = ระยะที่แรง Pi กระทำห่างจากจุด B ตามแนวดิ่ง เป็นเมตร

L = ความกว้างก้นรางน้ำ เป็นเมตร

w2 = น้ำหนักกระทำใต้ฐาน

ตัวแปรอื่นๆ มีความหมายเช่นเดียวกับกรณีที่ 1

การตรวจสอบความหนาพื้น จะกระทำตามที่กล่าวไว้เช่นเดียวกับในส่วนของการคำนวณความหนากำแพงและเหล็กเสริมของกำแพงกันดิน แต่ทั้งนี้จะต้องเลือกค่าโมเมนต์และแรงเฉือนที่จุด B หรือจุด C ซึ่งให้ค่ามากที่สุดจากกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ไปใช้คำนวณหาความหนาพื้นและเหล็กเสริมต่อไป

<u>ตัวอย่าง</u> จงออกแบบความหนาและเสริมเหล็กรางน้ำรูปตัวยูฝังดิน ดังแสดงในรูป 5 โดยใช้เกณฑ์กำหนดในการออกแบบในข้อ 1 ถึงข้อ 5 (ยกเว้นที่แสดงเป็นอย่างอื่นๆ) เกณฑ์กำหนดในการออกแบบเพิ่มเติมหรือที่ใช้ต่างไปจากที่เคยระบุมีดังนี้

1. ระยะหุ้มเหล็ก 7 ซม. สำหรับทุกผิวคอนกรีต (โดยไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อม)
2. ความหนาแน่นของดินถมอัดแน่นหรือดินเปียกชื้น (γ_m) 1900 กก./ม.^{3} ความหนาแน่นของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ 2100 กก./ม.^{3}
3. Bearing capacity ของดิน 10 ตัน/ม.^{2}
4. $vc = \frac{V}{bd}$

   $u = \frac{V}{\sum o.j.d}$
5. แรงยึดหน่วงสำหรับเหล็กรับแรงดึง u กก./ซม.^{2}

   5.1 เหล็กบน $\frac{2.29}{\phi}\sqrt{f'_c}$ แต่ไม่เกิน 25 กก./ซม.^{2}

   3.2 เหล็กอื่น $\frac{3.23}{\phi}\sqrt{f'_c}$ แต่ไม่เกิน 35 กก./ซม.^{2}
6. Surcharge เท่ากับ 0.5 ตัน/ม.^{2}

<u>วิธีทำ</u> พิจารณาแยกแรงเป็นส่วนย่อยๆ ตามรูปที่ 5 และคำนวณหาแรงและโมเมนต์ที่จุด A เพื่อหาปริมาณเหล็กหลักที่กำแพง และวิเคราะห์ในกรณีรางน้ำยาว 1.0 เมตร

$Ka = \tan^2(45-\frac{\theta}{2}) = \tan^2(45-\frac{30}{2}) = \frac{1}{3}$

P1	=	$\frac{1}{3}\times0.5\times4.5$	= 0.75	ตัน
P2	=	$\frac{1}{2}\times\frac{1}{3}\times1.9\times(2.5)^2$	= 1.98	ตัน
P3	=	$\frac{1}{3}\times1.9\times2.5\times2.0$	= 3.17	ตัน
P4	=	$\frac{1}{2}\times\frac{1}{3}\times(2.1-1)\times(2.0)^2$	= 0.73	ตัน
P5	=	$\frac{1}{3}\times1.0\times(2.0)^2$	= 2.0	ตัน
		แรงทั้งหมด, VA	= **8.63**	**ตัน**

M1	=	$0.75\times\frac{4.5}{2}$ =	1.69	ตัน-เมตร
M2	=	$1.98\times(\frac{2.5}{3}+2)$	= 5.61	ตัน-เมตร
M3	=	$3.17\times\frac{2}{2}$	= 3.17	ตัน-เมตร
M4	=	$0.73\times\frac{2}{3}$	= 0.49	ตัน-เมตร
M5	=	$2.0\times\frac{2}{3}$	= 1.33	ตัน-เมตร
		โมเมนต์ทั้งหมด, MA	= **12.29**	**ตัน-เมตร**

$dm = \sqrt{\frac{12.29\times1000\times100}{12.078\times100}} = 31.9$ ซม.

$dv = \frac{V}{vc\,b} = \frac{8.63\times1000}{3.86\times100} = 22.4$ ซม.

<u>เลือกใช้ความหนากำแพงดังนี้</u>

ยอดหรือขอบบนหนา 25 เซนติเมตร

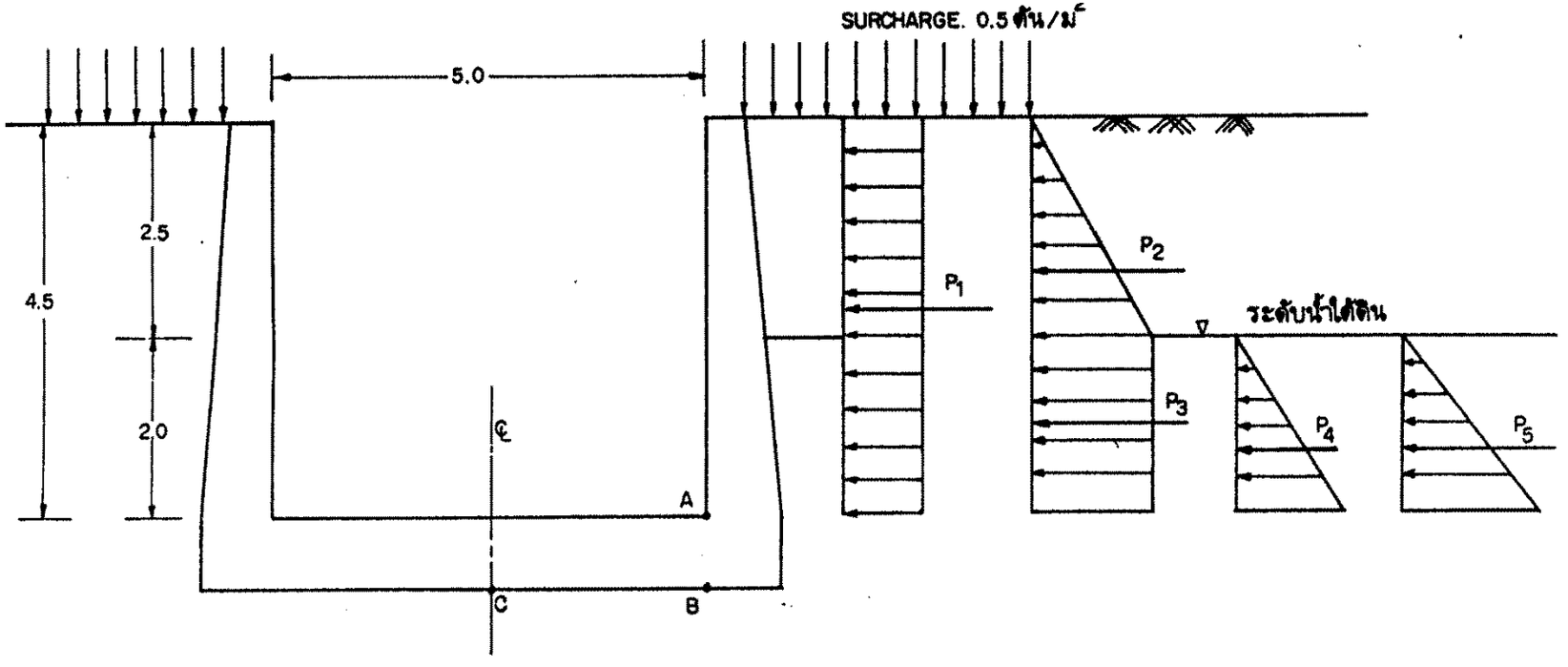
โคนกำแพงที่จุด A หนา 50 เซนติเมตร โดย d = 43 เซนติเมตร

(ออกแบบความหนาเผื่อต้านแรงลอยตัว)

As ที่จุด A $= \frac{12.29\times1000\times100}{1500\times0.884\times43} = 21.55$ ตร.ซม.

กรณีนี้ความหนาเกิน 40 ซม. คำนวณหา Ast ให้ใช้ความหนาเพียง 40 ซม.

Ast ที่จุด A $= 0.002\times100\times40 = 8.0$ ตร.ซม.

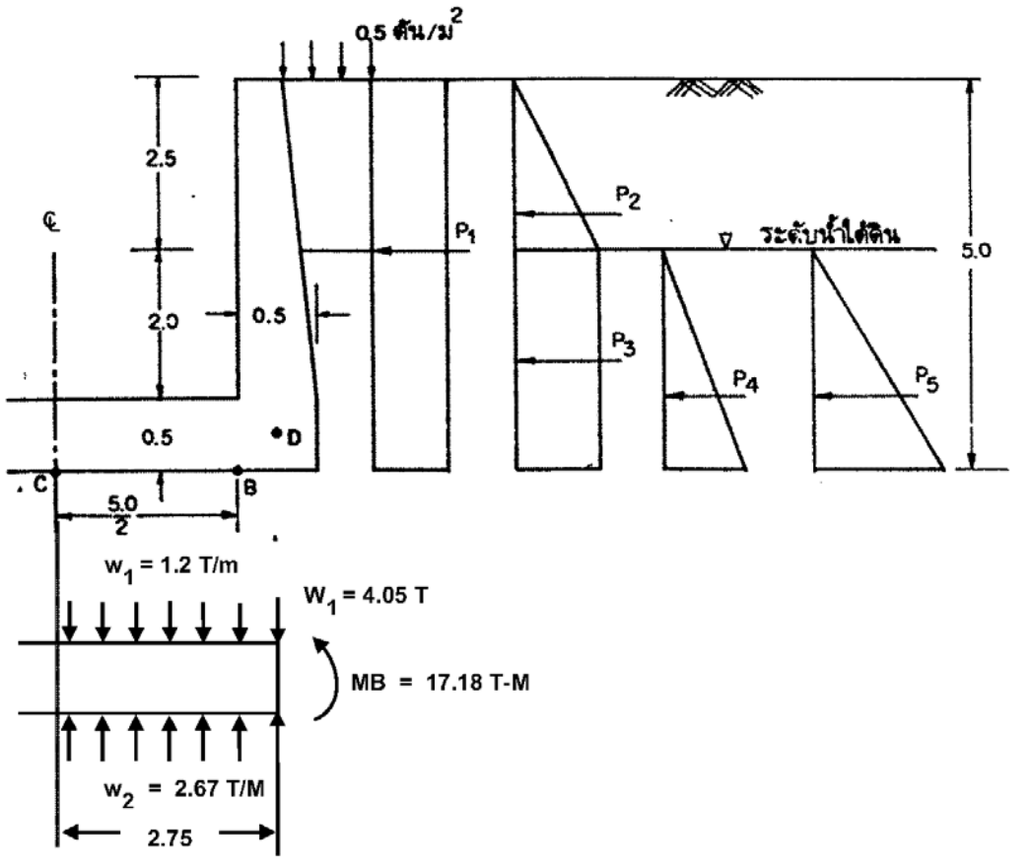


รูปที่ 5 ขนาดของรางน้ำและแรงย่อยที่ใช้ประกอบการคำนวณ

<u>วิเคราะห์พื้นในกรณีมีน้ำใต้ดิน</u>

สมมติพื้นหนา 50 ซม. แล้วคำนวณหาโมเมนต์ที่จุด B

M1	=	$\frac{1}{3} \times 0.5 \times 5.0 \times \frac{5.0}{2}$	=	2.08	ตัน-เมตร
M2	=	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} \times 1.9 \times (2.5)^2 (\frac{2.5}{3} + 2.5)$	=	6.6	ตัน-เมตร
M3	=	$\frac{1}{3} \times 1.9 \times 2.5 \times 2.5 \times \frac{2.5}{2}$	=	4.95	ตัน-เมตร
M4	=	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} \times (2.1\text{-}1.0) \times (2.5)^2 \times \frac{2.5}{3}$	=	0.95	ตัน-เมตร
M5	=	$\frac{1}{2} \times 1.0 \times (2.5)^2 \times \frac{2.5}{3}$	=	<u>2.60</u>	ตัน-เมตร
		แรงทั้งหมด, MB	=	<u>17.18</u>	ตัน-เมตร



นน. กำแพง 1 ด้าน, W1 = 0.5(0.25+0.50)×4.5×2.4 = 4.05 ตัน

นน. รางน้ำเมื่อไม่มีน้ำ = (4.05×2)+(5.0+0.5+0.5)×0.5×2.4

= 15.3 ตัน

ทำการตรวจสอบความมั่นคงต่อแรงลอยตัวในกรณีที่รางไม่มีน้ำ

ปริมาตรรางที่เสมือนจมอยู่ในน้ำ $\approx$ (2.0+0.5)×(5.0+0.5+0.5)×1.0 (คิดโดยประมาณ)

= 15.0 ลบ.เมตร

แรงลอยตัว (Bouyance) = 15.0×1.0 ตัน

= 15.0 ตัน < 15.3 ตัน

แสดงว่ารางน้ำต้านทานแรงลอยตัวได้ และมีน้ำหนักส่วนเกินเท่ากับ (15.3-15.0 = 0.3 ตัน) แต่ในทางปฏิบัติควรจะมีน้ำหนักส่วนเกินมากกว่านี้เพื่อเพิ่มความปลอดภัย เช่น ถ้าต้องการแฟคเตอร์ความปลอดภัย 1.20 อย่างน้อยรางน้ำต้องมีน้ำหนักเท่ากับ $1.20 \times 15.0 = 18.0$ ตัน การเพิ่มน้ำหนักอาจจะกระทำได้ โดยการเพิ่มความหนาของพื้นและกำแพง หรือในกรณีที่จะทำให้อาคารมีความหนามากเกินไป ก็อาจจะเพิ่มน้ำหนักโดยการสร้างตีนเป็ด (พื้นที่ยื่นเลยกำแพงออกไป) ยื่นออกไปทั้งสองด้านเพื่ออาศัยน้ำหนักของดินที่กดทับอยู่บนตีนเป็ด ช่วยเพิ่มน้ำหนักให้รางน้ำ

กรณีมีน้ำใต้ดิน ในการออกแบบพื้นให้คิดเสมือนว่าไม่มีน้ำใต้ดิน เนื่องจากน้ำใต้ดินใต้พื้นทำให้น้ำหนักอาคารลดลง แต่ในขณะเดียวกันใต้พื้นก็จะถูกน้ำใต้ดินดันขึ้นอยู่ (Uplift)

นน. รางทั้งหมด = (4.05×2) + (5+0.5+0.5) × 0.5 × 2.4

= 8.10 + 7.20 = 15.30 ตัน

นน. กระทำใต้พื้น , w2 = $\frac{15.30}{6.0\times1}$ = 2.55 ตัน/ม.^{2}

หรือ 2.55 ตัน/ม.

วิเคราะห์หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่พื้นตามรูป โดย

$$L1 = \frac{5.0}{2} + \frac{0.5}{2} = 2.75 \text{ ม.}$$

นน. ของพื้นราง, w1 = 0.5 × 2.4 = 1.2 ตัน/ม.^{2}

แรงเฉือนที่จุด B = 4.05+(1.2×0.25)-(2.55×0.25)

= 3.71 ตัน (มีทิศกดลง)

โมเมนต์ที่จุด B = $17.18+2.55\times\frac{(0.25)^2}{2}-1.2\times\frac{(0.25)^2}{2}-(4.05\times0.75)$

= 16.21 ตัน- เมตร

แรงเฉือนที่จุด C = 4.05 + (1.2×2.75) – (2.55×2.75)

= 0.34 ตัน (มีทิศกดลง)

โมเมนต์ที่จุด C = $17.18+2.55\frac{(2.75)^2}{2}-1.2\frac{(2.75)^2}{2}-4.05\times 0.75$

= 11.15 ตัน- เมตร

$dm = \sqrt{\frac{16.21\times1000\times100}{12.078\times100}} = 36.63$ ซม. < 43

$dv = \frac{3.71\times1000}{3.86\times100} = 9.62$ ซม. < 43

ใช้พื้นรางหนา 50 ซม. และ d = 43 ซม.

As ที่จุด C $= \frac{11.15\times1000\times100}{1500\times0.884\times43} = 19.56$ ตร.ซม.

As ที่จุด B $= \frac{16.21\times1000\times100}{1500\times0.884\times43} = 28.43$ ตร.ซม.

พิจารณาจากโมเมนต์ที่จุด B และจุด C จะต้องเสริมเหล็กผิวล่างเพื่อรับโมเมนต์

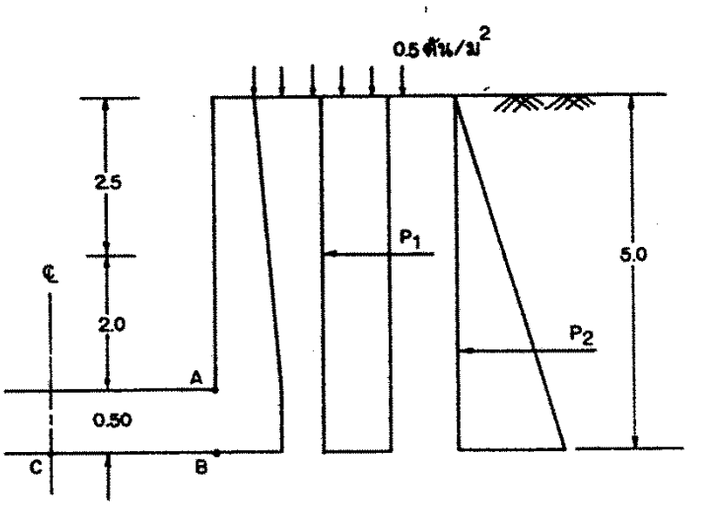
<u>วิเคราะห์พื้นในกรณีไม่มี Uplift</u>

คำนวณหาโมเมนต์ที่จุด B

$$M1 = \frac{1}{3}\times 0.5\times 0.5\times \frac{5.0}{2} = 2.08 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$M2 = \frac{1}{2}\times\frac{1}{3}\times 1.9\times 5.0\times 5.0\times \frac{5.0}{3} = 13.19 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$MB = 15.27 \text{ ตัน-เมตร}$$



คำนวณหาโมเมนต์ที่จุด C (วิเคราะห์เหมือนกรณีที่มี Uplift)

นน. กระทำใต้พื้น, $w2 = 15.3/(6.0\times 1) = 2.55$ ตัน/ม.^{2}

นน. ของพื้นราง, $w1 = 1.2$ ตัน/ม.^{2}

นน. กำแพง 1 ด้าน, $W1 = 4.05$ ตัน/ม.^{2}

โมเมนต์ที่จุด C $= 15.27+(2.55-1.2)\frac{(2.75)^2}{2} - 4.05\times 2.75$

$= 9.24$ ตัน-เมตร (เสริมเหล็กผิวล่าง)

แรงเฉือนที่จุด C $= 4.05 + (1.2\times 2.75) - (2.55\times 2.75) = 0.34$ ตัน (มีทิศกดลง)

โมเมนต์ที่จุด B $= 14.23$ ตัน-เมตร (เสริมเหล็กผิวล่าง)

แรงเฉือนที่จุด B $= 3.71$ ตัน (มีทิศกดลง)

จากการพิจารณาโมเมนต์และแรงเฉือนที่จุด B และ C ของทั้งสองกรณี ค่ามากสุดเกิดจากกรณีมี Uplift หรือน้ำใต้ดิน ออกแบบการเสริมเหล็ก ความหนาของพื้น โดยใช้โมเมนต์และแรงเฉือนที่จุด B และ C ของกรณีที่มีน้ำใต้ดิน

<u>การตรวจสอบความมั่นคง</u>

<u>แรงกระทำต่อฐานราก</u>

นน. รางน้ำรวมน้ำด้านในเต็มราง = 15.3+(5.0×4.5×1.0×1.0) = 37.8 ตัน

แรงกระทำต่อฐานราก = 37.8/(6.0×1.0)

= 6.30 ตัน/ม.^{2} < 10 ตัน/ม.^{2}

แสดงว่าฐานรากสามารถรับน้ำหนักของรางน้ำได้

<u>ออกแบบการเสริมเหล็ก</u>

1. <u>กำแพง</u> จากตารางที่ 1 พิจารณาลดเหล็กที่ระดับ 2.5 เมตร จากขอบกำแพง จะได้ความหนากำแพงเท่ากับ 38.89 ซม.

Ast = 0.002×100×38.89 = 7.78 ตร.ซม. > 5.13 ตร.ซม.

ผิวนอกทำการลดเหล็กที่ความลึก 2.50 เมตร ใช้เหล็ก ϕ 16 mm. @ 0.26

As = 7.73 ตร.ซม. (As น้อยกว่า Ast เล็กน้อย)

ผิวนอกที่ความลึก 2.5 ถึง 4.5 เมตร

ϕ 16 mm. @ 0.26	As =	7.73	ตร.ซม.	$\sum$o =	19.33	ซม.
ϕ 22 mm. @ 0.26	As =	14.62	ตร.ซม.	$\sum$o =	26.58	ซม.
รวม	As =	22.35	ตร.ซม.	$\sum$o =	45.91	ซม.

เหล็กรับอุณหภูมิเป็นเหล็กจุด Ast = 0.002×100×40 = 8 ตร.ซม.

ใช้ ϕ 16 mm. @ 0.25 As = 8.04 ตร.ซม.

ผิวในใช้เหล็ก ϕ 16 mm. @ 0.25 ด้วย

ตาราง 1 การคำนวณหาโมเมนต์และเหล็กเสริมของกำแพงที่ระดับต่างๆ

ความลึกจาก ผิวดิน (เมตร)	P1 (ตัน)	P2 (ตัน)	P3 (ตัน)	P4 (ตัน)	P5 (ตัน)	VA (ตัน)	M1 (ตัน-ม.)	M2 (ตัน-ม.)	M3 (ตัน-ม.)	M4 (ตัน-ม.)	M5 (ตัน-ม.)	MA (ตัน-ม.)	dm (ซม.)	dv (ซม.)	Eff.Depth (ซม.)	As (ตร.ซม.)
1.50	0.25	0.71	-	-	-	0.96	0.19	0.36	-	-	-	0.54	6.71	2.49	26.33	1.56
2.00	0.33	1.27	-	-	-	1.60	0.33	0.84	-	-	-	1.18	9.87	4.15	29.11	3.05
2.50	0.42	1.98	-	-	-	2.40	0.52	1.65	-	-	-	2.17	13.40	6.21	31.89	5.13
3.00	0.50	1.98	0.79	0.05	0.13	3.44	0.75	2.64	0.20	0.01	0.02	3.62	17.30	8.92	34.67	7.86
3.50	0.58	1.98	1.58	0.18	0.50	4.83	1.02	3.63	0.79	0.06	0.17	5.67	21.66	12.51	37.44	11.42
4.00	0.67	1.98	2.37	0.41	1.13	6.56	1.33	4.62	1.78	0.21	0.56	8.50	26.53	16.99	40.22	15.94
4.50	0.75	1.98	3.17	0.73	2.00	8.63	1.69	5.61	3.17	0.49	1.33	12.29	31.89	22.36	43.00	21.55

ตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับเหล็กรับแรงดึง

เหล็กหลักซึ่งรับแรงดึงของกำแพงอยู่ผิวนอกตลอด ประกอบด้วยเหล็ก 16 มม. และ 22 มม. มีแรงเฉือนสูงสุด 8.63 ตัน ที่จุด A (โคนกำแพง)

$$u = \frac{3.23}{\phi}\sqrt{f'_c} = \frac{3.23}{2.2}\sqrt{175}$$

$$= 19.42 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$u = \frac{V}{\sum o.j.d} = \frac{8.63\times1000}{45.91\times0.884\times43}$$

$$= 4.95 \text{ กก./ซม.}^2 < 19.42$$

แสดงว่าเหล็กที่เสริมมี Σo เพียงพอ

2. <u>พื้น</u> จากตารางที่ 2 พิจารณาเสริมเหล็กเพิ่มจากขอบกำแพงถึงระยะ (1.50-0.25 = 1.25) จากขอบกำแพง ส่วนช่วงที่เหลือใช้เหล็กเสริมหลักเหมือนที่โคนกำแพง

ใช้ ϕ 16 mm. @ 0.26 As = 7.73 ตร.ซม. Σo = 19.33 ซม.

ϕ 16 mm. @ 0.26 As = 7.73 ตร.ซม. Σo = 19.33 ซม.

ϕ 22 mm. @ 0.26 As = 14.62 ตร.ซม. Σo = 26.58 ซม.

รวม As = 30.08 ตร.ซม. > 28.43

Σo = 65.24 ซม.

ผิวบนและเหล็กจุดซึ่งเป็นเหล็กรับอุณหภูมิ ใช้ ϕ 16 mm. @ 0.25

ตรวจสอบแรงยึดหน่วงสำหรับเหล็กรับแรงดึง

เหล็กหลักซึ่งรับแรงดึงของพื้นอยู่ผิวล่างตลอด ประกอบด้วยเหล็ก 16 มม. 16 มม. และ 22 มม. มีแรงเฉือนสูงสุด 3.71 ตัน ที่จุด B

$$u = \frac{3.23}{\phi}\sqrt{f'_c} = \frac{3.23}{2.2}\sqrt{175}$$

$$= 19.42 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$u = \frac{V}{\sum o.j.d} = \frac{3.71\times1000}{65.24\times0.884\times43}$$

$$= 1.50 \text{ กก./ซม.}^2 < 19.42$$

แสดงว่าเหล็กที่เสริมมี Σo เพียงพอ

ตารางที่ 2 การคำนวณหาโมเมนต์ที่พื้นกรณีมีน้ำใต้ดิน

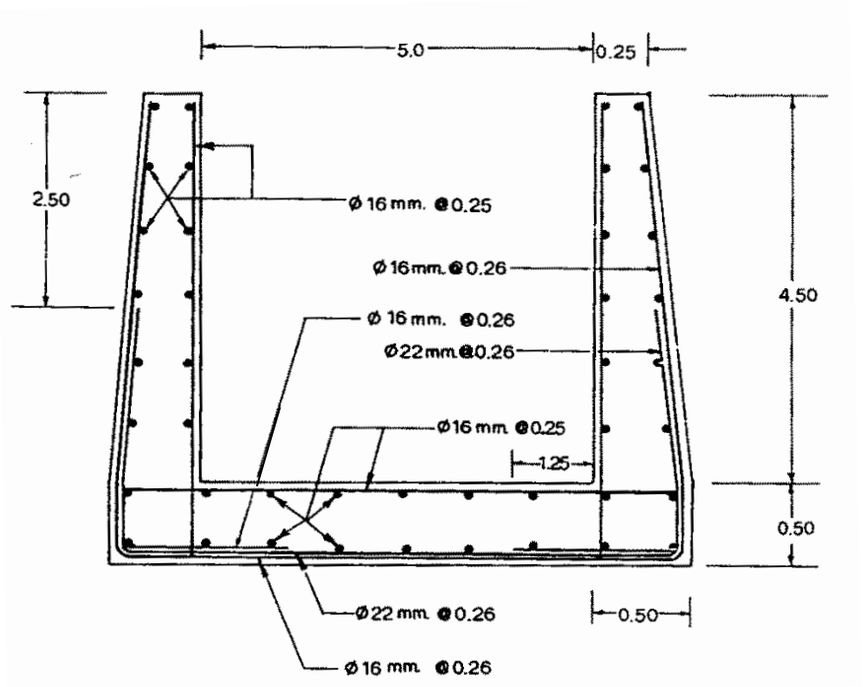
ระยะจาก D	แรงเฉือน	โมเมนต์	dm	dv	Eff. depth	As
เมตร	(ตัน)	(ตัน-ม.)	(ซม.)	(ซม.)	(ซม.)	(ตร.ซม.)
0.00	4.05	17.18	37.71	10.49	43	30.10
0.25	3.71	16.21	36.63	9.62	43	28.40
0.50	3.38	15.32	35.62	8.74	43	26.84
1.00	2.70	13.81	33.81	6.99	43	24.18
1.25	2.36	13.17	33.02	6.12	43	23.08
1.50	2.03	12.62	32.33	5.25	43	22.11
1.75	1.69	12.16	31.73	4.37	43	21.30
2.00	1.35	11.78	31.23	3.50	43	20.64
2.25	1.01	11.48	30.84	2.62	43	20.12
2.50	0.68	11.27	30.55	1.75	43	19.75
2.75	0.34	11.15	30.38	0.87	43	19.53

<u>ตรวจสอบระยะยื่นเหล็ก</u>

ควรตรวจสอบระยะยื่นเหล็กจากพื้นเข้าไปในกำแพงเพื่อป้องกันมิให้รางน้ำชำรุดด้วยสาเหตุแรงยึดหน่วงไม่พอ

$$L = \frac{fs.\phi}{4u} = \frac{1500\times1.6}{4\times19.42}$$

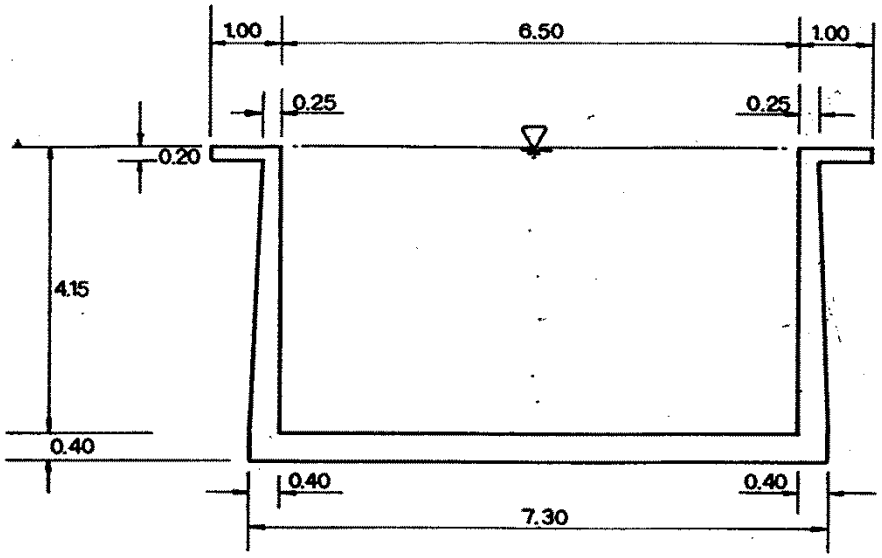
$$= 30.90 \text{ ซม.} \quad \text{ใช้ } 50 \text{ ซม.}$$



รูปที่ 6 แสดงการเสริมเหล็กรางน้ำรูปตัวยู

การออกแบบสะพานน้ำ

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการออกแบบสะพานน้ำในระบบส่งน้ำดิบของการประปานครหลวง ซึ่งดำเนินการโดยบริษัททีมคอนซัลติ้ง เอนจิเนียร์ จำกัด และบริษัทแอสดีคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด แสดงรายละเอียดการออกแบบเฉพาะหน้าตัดช่วงกลางของอาคาร โดยมีการเปลี่ยนแปลงการคำนวณเล็กน้อยโดยเฉพาะ Footing วัตถุประสงค์ของตัวอย่างนี้ก็เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้ถึงหลักเกณฑ์ในการออกแบบ และการแยกส่วนต่างๆ ในการวิเคราะห์



f'_c	=	175	ksc.
f_c	=	78.8	ksc.
f_s	=	1,500	ksc.
n	=	10	
k	=	0.344	
j	=	0.885	
R	=	11.995	
d	=	4.51 m.	(Covering = 4 cm.)
b'	=	(0.25+0.40)/2 =	0.325 m.
kd	=	1.55 m.	from top < 4.15 m.

แสดงว่าแนวแกนสะเทิน (N.A) อยู่เหนือพื้น elevated flume

ดังนั้นความกว้างของคอนกรีตที่รับแรงอัด = 2 b'

<u>พิจารณา flume เป็น u-shape beam</u>

วิเคราะห์ flume ยาว 1.0 เมตร

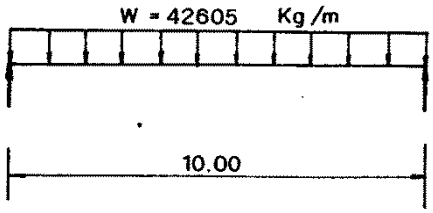
น้ำหนักจรบนทางเดิน = 2×750 = 1,500 kg/m.

น้ำหนักน้ำ = $4.15(6.5)(1,000)$ = 26,975 kg/m.

น้ำหนัก flume = $[0.4(7.3)+2(1.0)(0.2) + \frac{1}{2}(0.25+0.40)(3.95)]\ (2,400)$

= 14,130 kg/m.

w = 1,500 + 26,975 + 14,130 = 42,605 kg/m.



$M = \frac{WL^2}{8} = \frac{42,605(10)^2}{8(1,000)} = 532.56$ t.m.

$M_C = R(2\,b')\,d^2 = \frac{11.995(2\times0.325)(451)^2}{(1,000)}$

= 1585 t.m

$M < M_C$

$A_S = \frac{M}{f_S.j.d} = \frac{532.56(1,000)}{(1,500)(0.885)(4.51)}$

= 88.95 cm^2 / 6.5 m width

= 13.69 cm^2 /1 m width

เลือกใช้เหล็กขนาด DB 20 @ 0.20 (A_S = 15.71 cm^2)

$V = \frac{WL}{2} = \frac{42,605(10)}{2} = 213,025$ kg.

$v = \frac{V}{(2b')d} = \frac{213,025}{(2\times32.5)(451)} = 7.27$ ksc.

v_C = 3.8 ksc.

V_C = $3.8\ (2\times32.5)(451)$ = 111,397 kg.

$V' = V - V_C$ = 213,025 – 111,397

= 101,628 kg.

$$S = \frac{A_V.f_V.d}{V'}$$

ใช้เหล็กตั้งของกำแพงรับแรงเฉือน (DB 16, $A_S = 4.02\ cm^2$)

$$S = \frac{(4.02)(1,500)(451)}{101628}$$

$$= 26.76 \text{ cm} > 20 \text{ cm.} \quad \text{OK.}$$

ใช้ DB 16 @ 0.20 เป็นเหล็กตั้งรับแรงเฉือน

<u>พิจารณากำแพงเป็น Simple beam</u> โดยมี span. เท่ากับ 10.0 เมตร

น้ำหนักจรบนทางเดิน = 750 kg/m

น้ำหนักน้ำ = $4.15 \frac{(6.5)}{2}(1,000)$ = 13,487.5 kg/m

น้ำหนัก flume = 14,130/2 = 7,065 kg/m

w = 750 + 13,487.5 + 7065 = 21,302.5 kg/m

$M = \frac{WL^2}{8} = \frac{21,302.5\,(10)^2}{8\,(1,000)} = 266.28$ t.m

$M_c = R_B.R\,b'.d^2$; R_B เท่ากับตัวคูณปรับลดกรณีคานแคบ

$= 0.981\,(11.995)(0.325)(415+20)^2/\,(1,000) = 723.65$ t.m

$M < M_c$

$A_S = \frac{M}{f_S.j.d} = \frac{266.28\,(1,000)}{(1,500)(0.885)(4.35)} = 46.11\ cm^2$

เลือกใช้เหล็ก 10 – DB 25 ($A_S = 49.09\ cm^2$)

$V = \frac{w\,L}{2} = \frac{21,302.5\,(10)}{2} = 106,512.5$ kg

$v_c = 3.8\,(32.5)\,(435) = 53,722.5$ kg

$V' = V - V_c = 106,512.5 - 53,722.5 = 52,790$ kg

ใช้เหล็กเสริมแนวตั้งของกำแพงรับแรงเฉือน (ดู U-shape beam)

<u>แผ่นพื้นทางเดิน</u> โดยพิจารณาต่อความยาว 1 เมตร

LL บนทางเดิน = 750×1.0 = 750 kg/m.

DL ของทางเดิน = $0.2 \times 1.00 \times 2{,}400$ = 480 kg/m.

$w = 750 + 480 = 1{,}230$ kg/m.

$$M = \frac{(wl)^2}{2} = \frac{1{,}230\,(0.75)^2}{2} = 345.94 \text{ kg/m.}$$

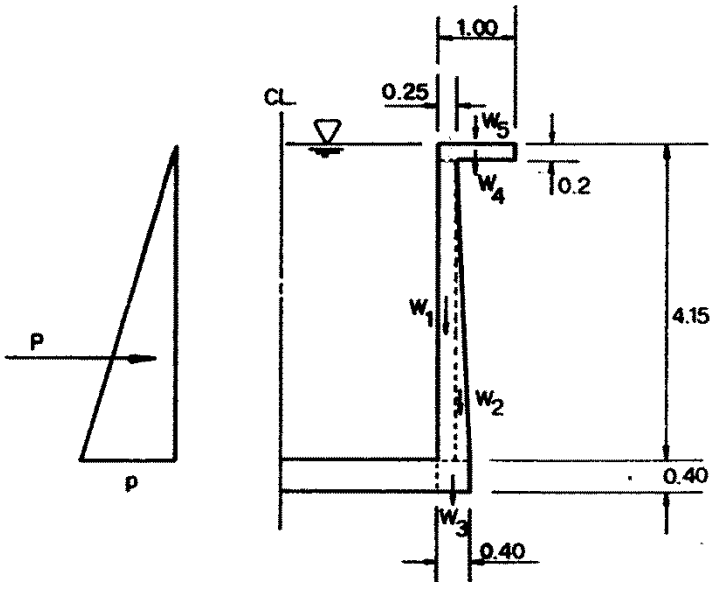
$$A_S = \frac{M}{f_S . j . d} = \frac{345.94}{(1{,}500)(0.885)(0.16)} = 1.63 \text{ cm}^2$$

เลือกใช้เหล็ก DB 12 @ 0.20 ($A_S = 5.65$ cm^2)

$$V = wL = 1{,}230(0.75) = 922.5 \text{ kg}$$

$$d_v = \frac{V}{b\, v_c} = \frac{922.5}{(100)\,(3.8)} = 2.43 \text{ cm} < 16 \text{ cm} \quad \text{O.K.}$$

<u>พิจารณากำแพงเป็น Cantilever beam</u> โดยมีแรงดันน้ำเป็นแรงกระทำ



$p = \gamma_w (H) = 1.0\,(4.15) = 4.15$ ตัน/ม.^{2}

$P = \frac{1}{2}\,(4.15)\,(4.15) = 8.611$ ตัน

$M = 8.611\,(4.15/3) = 11.912$ ตัน-เมตร

$M_c = R\,b\,d^2 \quad \frac{11.995\ (1.0)\ (36)^2}{(1,000)} = 15.54$ ตัน-เมตร

$> M$

$d_m = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{11.912\,(1,000)}{11.995}} = 31.5$ ซม. < 36

O.K.

$d_v = \frac{V}{b\,v_c} = \frac{8.611(1,000)}{(100)\,(3.8)} = 22.7$ ซม. < 36

O.K.

$A_s = \frac{M}{f_s.\,j.\,d} = \frac{11.912\,(1,000)}{(1,500)\,(0.865)\,(0.36)} = 24.93$ ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็ก DB 16 @ 0.20 + DB 20 @ 0.20 ($A_s = 25\ 76\ cm^2$)

และ $\Sigma_o = 25.13 + 31.42 = 56.55$ ซม.

<u>ตรวจสอบความหนาของแผ่นพื้น flume</u>

w_1	=	3.95(0.25)(2.4)	=	2.370	ตัน
w_2	=	$\frac{1}{2}$(0.15)(3.95)(2.4)	=	0.711	ตัน
w_3	=	0.4(0.4)(2.4)	=	0.384	ตัน
w_4	=	0.2(1.0)(2.4)	=	0.48	ตัน
w_5	=	750(1.0)/1,000	=	0.75	ตัน
		Σw	=	4.695	ตัน

$d_v = \frac{V}{b\,v_c} = \frac{4.695(1,000)}{100(3.8)}$

$=$ 12.36 ซม. $<$ 36 ซม. O.K.

<u>ตรวจสอบแรงยึดหน่วง, u ที่โคนกำแพง</u>

$u = \frac{V}{\Sigma o.j.d} = \frac{8.611(1,000)}{(25.13+31.42)(0.885)(36)}$

$=$ 4.8 ksc. $<$ 21.4 ksc. O.K.

หาตำแหน่งความลึกจากขอบกำแพงที่จะใช้เหล็ก DB 16 @ 0.20 (A_S = 10.05 cm^2)

$$M_1 = A_S . f_S . j . d ; \quad d = 0.25\text{-}0.04 + \frac{0.15(H)}{4.15} \qquad (1)$$

$$M_2 = \tfrac{1}{2}\ \gamma\ H^2 . \frac{H}{3} \qquad (2)$$

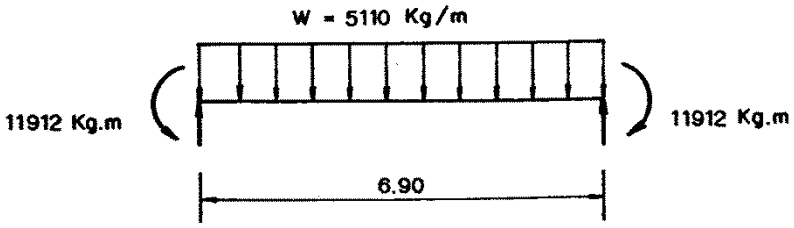
(1) = (2) ; $10.05(1,500)(0.885)(0.21+0.036H) = \tfrac{1}{2}(1,000)\ \frac{H^3}{3}$

$$H^3 - 2.882H - 16.81 = 0$$

$$H = 2.934 \text{ m.}$$

ดังนั้นเลือกความสูงที่จะหยุดเหล็กที่ 2.50 m. จากขอบบนของ flume

<u>ออกแบบพื้นเป็น Fixed end beam</u>



น้ำหนักน้ำ = 4.15 (1,000) = 4,150 kg/m

น้ำหนักพื้น = 0.40 (2,400) = 960 kg/m

w = 4,150 + 960 = 5,110 kg/m

$M^+ = -11,912 + 5,110\ \frac{(6.9)^2}{8} = 18,499$ kg.m

$V = \frac{wL}{2} = \frac{5,110(6.9)}{2} = 17,630$ kg

$M_C = R\ b\ d^2 = 11,995(1.0)(36)^2 = 15,545$ kg.m

$$A_S^+ = \frac{M_C}{f_S . j . d} + \frac{(M^+ - M_C)}{f_S (d - d')}$$

$$= \frac{15,545}{(1,500)(0.885)(0.36)} + \frac{(18,499-15,545)}{(1,500)(0.36)-0.04)} = 38.7 \ cm^2$$

เลือกใช้เหล็ก DB 20 @ 0.20 + DB 25 @ 0.20 (A_S = 40.25 cm^2)

$$A_S^- = \frac{M^-}{f_S . j . d} = \frac{11,912}{(1,500)(0.885)(0.36)} = 24.93 \ cm^2$$

เลือกใช้เหล็ก DB 16 @ 0.20 + DB 20 @ 0.20 (A_S = 25.76 cm^2)

ตรวจสอบแรงเฉือน

$V_c = v_c \cdot b \cdot d = 3.8(100)(36) = 13{,}680$ kg

$V' = V - V_c = 17{,}630\text{-}13{,}680 = 3{,}950$ kg

ถ้าพิจารณาให้เหล็กเสริมทางแนวนอนเป็นเหล็กรับแรงเฉือนด้วย

เหล็กบน : DB 16 @ 0.20 + DB 20 @ 0.20 ($A_S = 25.76$ cm^2)

เหล็กล่าง : DB 20 @ 0.20 + DB 25 @ 0.20 ($A_S = 40.25$ cm^2)

ปริมาณเหล็กเสริมรวม = 25.76 + 40.25 = 66.01 cm^2/m

ดังนั้นเหล็กเสริมในแนวนอนจะรับแรงเฉือน

$= \frac{V'}{A_S} = \frac{3{,}950}{66.01}$

$= 60$ ksc $< f_v = 1{,}500$ ksc. O.K.

ออกแบบ Cap Beam

น้ำหนักจรบนทางเท้า = 750 (2)(10) /1,000 = 15 ตัน

น้ำหนักน้ำ = 4.15(6.50)(10)(1.0) = 269.75 ตัน

น้ำหนัก Flume = [0.2(1.0)(10)(2) + $\frac{1}{2}$ (0.25 + 0.40)(3.95)(10)(2) +

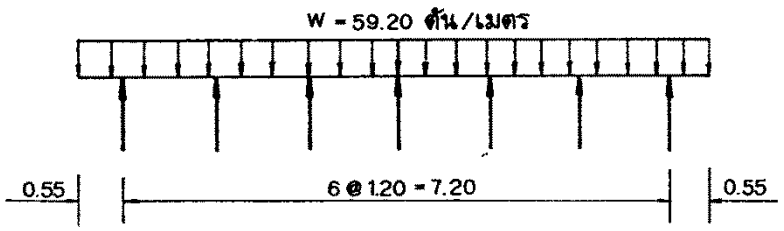
0.4 (7.3)(10)] 2.4 = 141.30 ตัน

น้ำหนัก Cap beam = 0.5 (0.7)(2.4) = 0.84 ตัน/เมตร

น้ำหนักรวมบน Cap beam = 15 + 269.75 + 141.30 = 426.05 ตัน

แรงกดบน Cap beam = $\frac{426.05\,(1{,}000)}{(50)\,(730)}$

= 11.70 ksc $< 0.25\, f_c'$ = 43.8 ksc O.K.



น้ำหนักกระจายบน Beam $= \frac{(15+269.75+141.30)}{7.3} + 0.84$

$= 59.20$ ตัน/เมตร

ระยะของเสา $= 1.20$ m.

ขนาดของเสา $= 0.40 \times 0.40$ m.

$\therefore$ ความยาวสุทธิของช่วงคาน, $L' = 1.20 - 0.40 = 0.80$ m.

$M^- = \frac{1}{9} WL'^2 = \frac{1}{9}(59.20\times1,000)(0.80)^2 = 4,210$ kg-m.

$M^+ = \frac{1}{11} WL'^2 = \frac{1}{11}(59.20\times1,000)(0.80)^2 = 3,444$ kg-m.

M (cantilever) $= \frac{1}{2} WL'^2 = \frac{1}{2}(59.20\times1,000)(0.35)^2 = 3,626$ kg-m.

$\therefore$ M(max) $= 4,210$ kg-m.

$Mc = R\,b\,d^2 = 11.995(0.50)(66)^2 = 26,125$ kg-m.

$A_S = \frac{M}{f_S.j.d} = \frac{4,210}{1,500\times0.885\times0.66} = 4.81$ cm^2

$V = 1.15\frac{wL'}{2} = 1.15\times59.20\times1,000\times0.80/2 = 27,232$ kg.

$\sum o = \frac{V}{u.j.d} = \frac{27,232}{12.1\times0.885\times66} = 38.53$ cm

(สำหรับ DB 25 mm จะได้ u = 12.10 ksc)

ใช้ 5–DB25, $A_S = 24.54$ cm^2, $\sum o = 39.27$ cm.

$v = \frac{V}{bd} = \frac{27,232}{50\times66} = 8.25 > 3.8$ ksc.

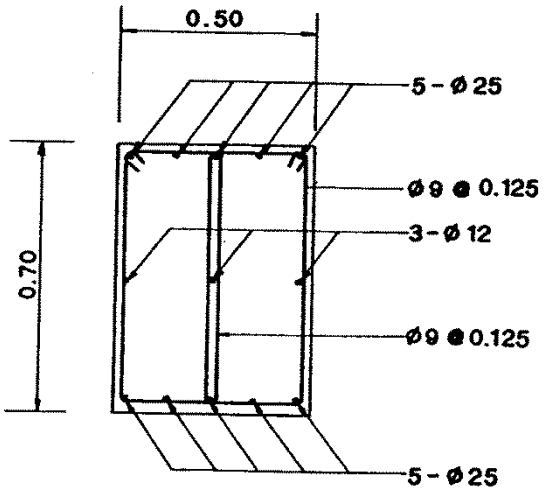
$V_c = 3.8\times50\times66 = 12,540$ kg.

$V' = V - V_c = 27,232-12,540 = 14,692$ kg.

ใช้ Stirrup 2-RB9, $A_S = 2\times1.27 = 2.54$ cm^2

$S = \frac{Av.fv.d}{V'} = \frac{2.54\times1,200\times66}{14,692} = 13.70$ cm.

ใช้ Stirrup 2-RB9 @ 0.125



<u>ออกแบบเสา</u>

แรงสูงสุดตามแนวแกนของเสา = 2 V = 2×27,232 = 54,464 kg. สำหรับเสาสั้น

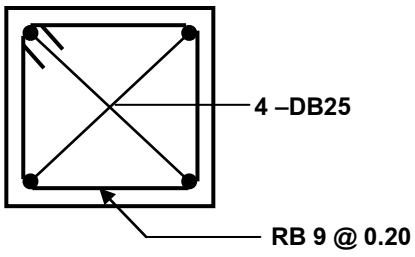
$P = 0.85\ A_g\ (0.25\ f_c' + A_S\ f_s / A_g)$

A_g = 40×40 = 1,600 cm^2

ใช้ 4-DB 25, A_S = 19.63 cm^2

P = 0.85×1,600(0.25×175+19.63×1,500/1,600)

= 84,528 kg. > 54,464 kg. (หรือ 27,232 ×2) O.K.



ตรวจสอบเสายาว

h = Height of Column = 3.00 m.

r = Radius of gyration ของเสา = 0.3 t

= 0.3×0.40 = 0.12 m.

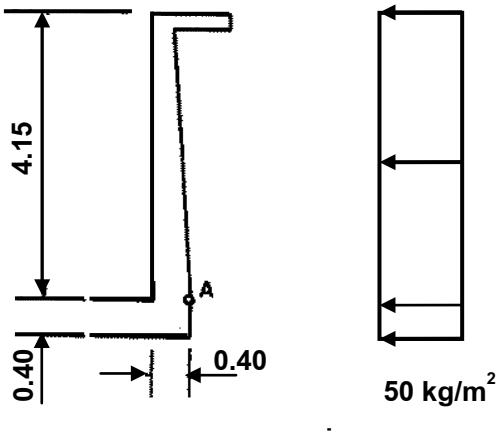
$R = \frac{P(long)}{P(short)} = 1.07-0.008\ \frac{h}{r}$

$= 1.07-0.008\times\frac{3.00}{0.12} = 0.87$

P(long) = R × P(short)

= 0.87×84,528 = 73,539 kg. > 54,464 O.K.

ตรวจสอบแรงที่ลมกระทำ



$\sum M_A = 50\ \frac{(4.15)^2}{2} = 431$ kg-m.

$A_{s_{req.}} = \frac{M}{f_s \cdot j \cdot d} = \frac{431}{(1{,}500)(0.885)(0.36)}$

= 0.9 cm^2/m.

< DB 16 @ 0.20 + DB 20 @ 0.20 (A_S = 25.76 cm^2) O.K.

พิจารณา Shear ที่หัวเสา

Cap beam จะต้องรับผิดชอบโครงสร้างยาว 10.00 m.

แรงลมกระทำด้านข้าง = 50 (4.55)(10.00)

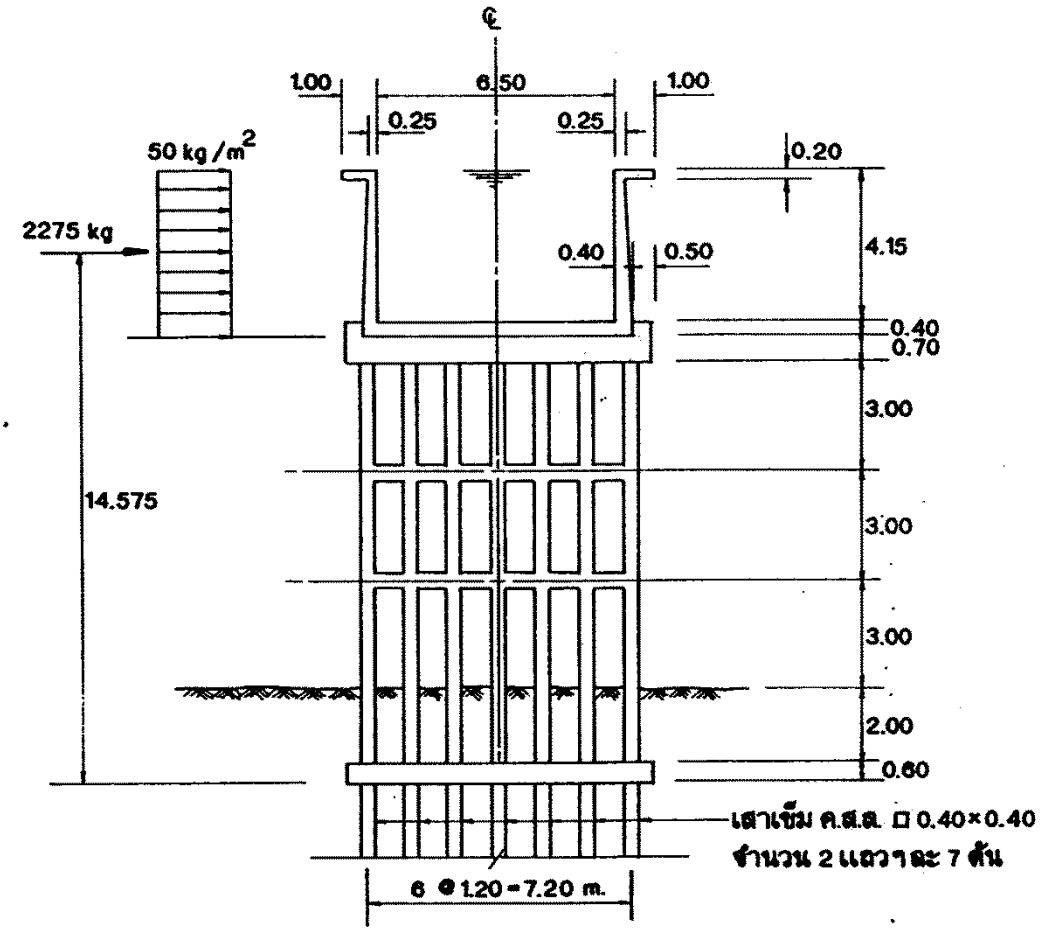
= 2,275 kg / 1 cap beam

$$= \frac{2{,}275}{7} = 325 \text{ kg / 1 เสา}$$

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{325}{(40)(36)}$$

$$= 0.23 \text{ ksc} < 3.8 \text{ ksc.} \quad \text{O.K.}$$

<u>วิเคราะห์ฐานราก</u>



น้ำหนักจรบนทางเท้า = 0.75(2)(10) = 15 ตัน

น้ำหนักของน้ำ = 1.0(4.15)(6.50)(10) = 270 ตัน

น้ำหนักรางน้ำทั้งหมด = [0.2(1.0)(10)(2)+0.4(7.3)(10) + ½ (0.25+0.4)×

(3.95)(10)(2)](2.4) = 142 ตัน

น้ำหนัก Cap beam = [0.7(8.3)(0.5)+2(0.4)(0.5)(0.5)](2.4) = 8 ตัน

น้ำหนัก Column = 7(0.4)(0.4)(11)(2.4) = 30 ตัน

น้ำหนัก Bracing = 12(0.8)(0.4)(0.4)(2.4) = 4 ตัน

ดิน = [8.3(2.2)(2.0) – 7(0.4)(0.4)(2.0)](2.15) = 74 ตัน

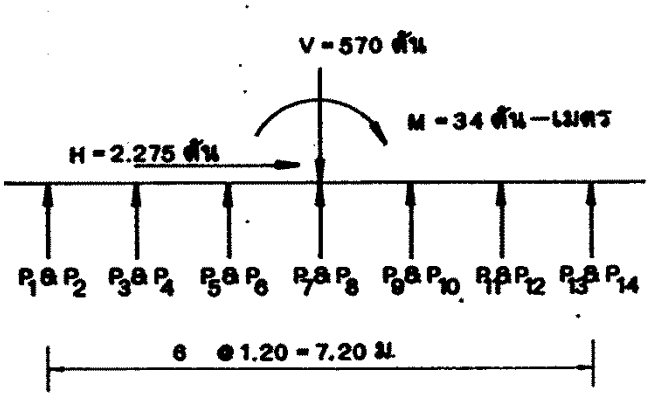
Pile cap = 8.3(0.6)(2.2)(2.4) = 27 ตัน

รวม = 570 ตัน

M = 2.275(14.575) = 33.16 ≈ 34 ตัน-เมตร

แรงกระทำในแนวราบ = $\frac{2.275(1,000)}{2(7)}$ = 162.5 กก./pile

< 1 kip/pile (≈ 453 กก./pile) O.K.



เสาเข็ม คสล. □ 0.40×0.40
จำนวน 2 แถว ๆ ละ 7 ต้น = 14 ต้น

$\sum d^2$ = $2((1.2)^2+(2.4)^2+(3.6)^2)$ = 40.32

P = $\frac{V}{N} \pm \frac{\Sigma M.d}{\Sigma d^2}$

P_1 = P_2 = $\frac{1}{2}(\frac{570}{7} - \frac{34(3.6)}{40.32})$ = 39.20 ตัน

P_3 = P_4 = $\frac{1}{2}(\frac{570}{7} - \frac{34(2.4)}{40.32})$ = 39.70 ตัน

$\frac{570}{7}$

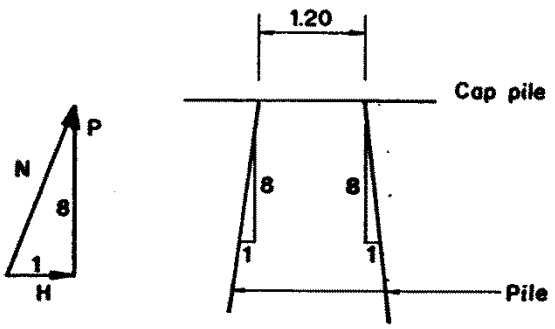
P_5 = P_6 = $\frac{1}{2}(\frac{570}{7} - \frac{34(1.2)}{40.32})$ = 40.21 ตัน

P_7 = P_8 = $\frac{1}{2}(\frac{570}{7} - \frac{34(0)}{40.32})$ = 40.71 ตัน

P_9 = P_{10} = $\frac{1}{2}(\frac{570}{7} - \frac{34(1.2)}{40.32})$ = 41.22 ตัน

P_{11} = P_{12} = $\frac{1}{2}(\frac{570}{7} - \frac{34(2.4)}{40.32})$ = 41.73 ตัน

P_{13} = P_{14} = $\frac{1}{2}(\frac{570}{7} - \frac{34(3.6)}{40.32})$ = 42.23 ตัน



รูปด้านข้างของเสาเข็ม

<u>สรุปแรงในแนวแกนของเสาเข็ม</u>

เสาเข็ม	P (t)	H (t)	N (t)
N1 = N2	30.20	3.775	30.44
N3 = N4	39.70	4.9625	40.01
N5 = N6	40.21	5.026	40.52
N7 = N8	40.71	5.089	41.03
N9 = N10	41.22	5.153	41.54
N11 = N12	41.73	5.216	42.05
N13 = N14	42.23	5.279	42.56
ค่าเฉลี่ย	**40.71**		

<u>ตรวจสอบแรงดึงในเสาเข็ม (กรณีไม่มีน้ำและไม่คิดดินบน pile cap)</u>

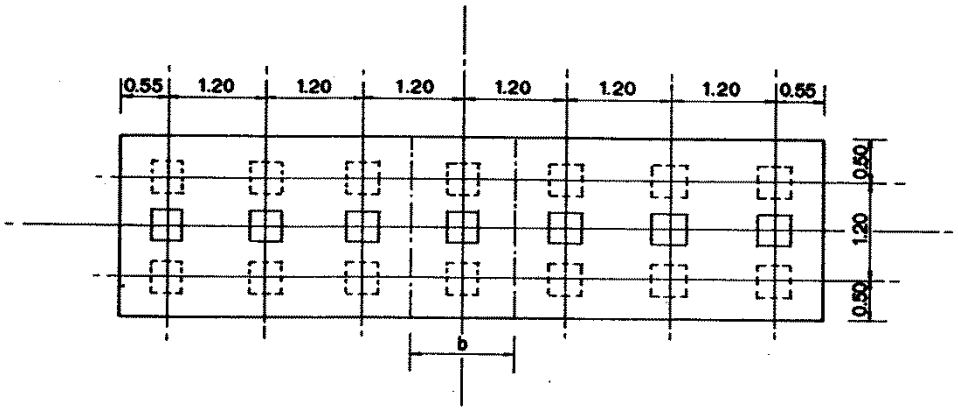
V = 570 – 270 – 74 = 226 ตัน

เสาเข็มที่มีโอกาสที่จะเกิดแรงดึงคือ P_1 และ P_2 โดย

$P_1 = P_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{226}{7} - \frac{34(3.6)}{40.32}\right) = 14.625$ ตัน

แสดงว่าเสาเข็ม P_1 และ P_2 ยังเกิด compression O.K.

<u>ออกแบบฐานราก (footing)</u>



<u>ความกว้างประสิทธิผลของ Footing</u>

ใช้เสาเข็มคอนกรีตขนาด 0.40×0.40 จำนวน 2 ต้นต่อหนึ่งเสา และเนื่องจากแรงลมและน้ำหนักทั้งหมดทำให้เกิดแรงกดที่หัวเสาเข็ม มีค่าต่างกันไม่มาก จึงพิจารณาใช้ค่าเฉลี่ยในการออกแบบ

$\therefore$ แรงต่อหนึ่งเสาเข็ม = 40,715 กก.

ศูนย์กลางเสาเข็มห่างจากขอบเสา $= 0.60 - \frac{0.40}{2} = 0.40$ เมตร

โมเมนต์ที่ขอบเสา = 1×40,715×0.40 = 16,286 กก.-ม.

$$d_m = \sqrt{\frac{M}{Rb}}$$

$$= \sqrt{\frac{16,286\times100}{11.995\times120}} = 33.64 \text{ ซม.}$$

ใช้ความหนา Footing = 60 ซม. และ d = 54 ซม.

V = 40,715 กก.

$v_c = 0.53\sqrt{f'_c} = 0.53\sqrt{175} = 7.01$ ksc.

$v = \frac{V}{bd} = \frac{40,715}{120\times54}$

$= 6.28$ ksc. $<$ 7.01 O.K

$A_s = \frac{M}{f_s.j.d} = \frac{16,286\times100}{1,500\times0.885\times54}$

$= 22.72$ ตร.ซม.

$u = \frac{3.23\sqrt{f'_c}}{\phi} \not> 35$ ksc.

ใช้เหล็กข้ออ้อยขนาด 25 มม.

$$u = \frac{3.23\sqrt{175}}{2.5} = 17.1 \text{ ksc.} < 35 \text{ O.K.}$$

$$\Sigma o = \frac{V}{u.j.d} = \frac{40{,}715}{17.1 \times 0.885 \times 54}$$

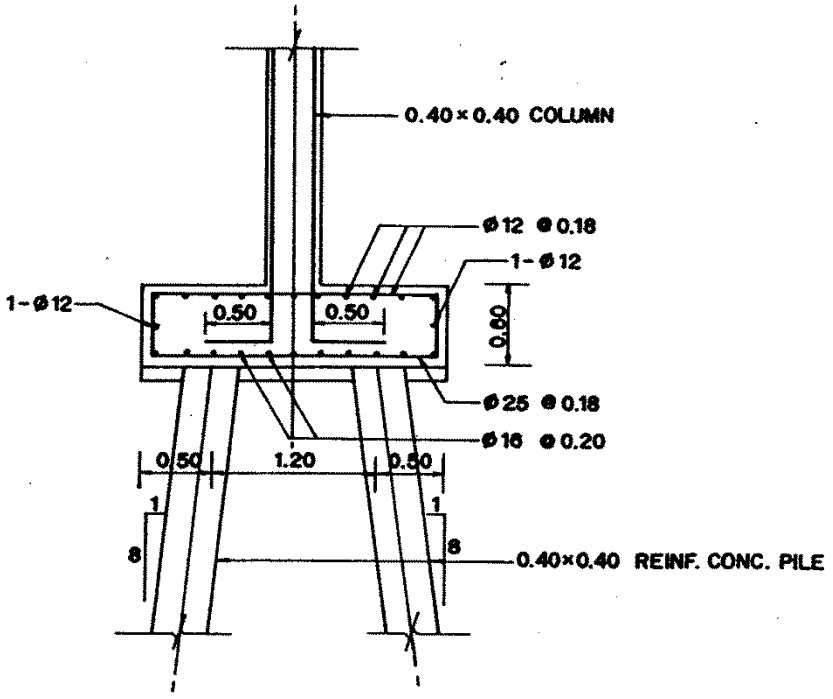
$$= 49.82 \text{ ซม./1.20 เมตร}$$

$$= 41.52 \text{ ซม./เมตร}$$

ใช้เหล็กข้ออ้อยขนาด 25 มม. @ 0.18,

$$A_S = 27.27 \text{ ตร.ซม.}$$

$$\Sigma o = 43.63 \text{ ซม.}$$



Allowable Bearing Capacity of Pile ≯ 70 t./pile

Check deflection ของ flume

$$\Delta = \frac{5\,WL^4}{384\,EI}$$

W = DL of flume = 141.3 t./10 m = 141.3 kg.

E = 2×10^5 ksc.

หาตำแหน่ง N.A. (จากส่วนล่างของพื้น flume)

$$x\,[0.4(7.3)+2(1.0)(0.2)+(\tfrac{1}{2})(0.25+0.4)(3.95)(2)]$$

$$= 0.4(7.3)(0.2)+2(0.2)(1.0)(4.45)+2(0.25)(3.95)(2.175)+$$
$$2(\tfrac{1}{2})(0.15)(3.95)(1.717)$$

$$x = 1.304 \text{ m.}$$

$$I_{NA} = \tfrac{1}{12}(7.3)(0.4)^3+(7.3)(0.4)(1.104)^2+2(\tfrac{1}{12})(1.0)(0.2)^3+$$
$$2(1.0)(0.2)(3.146)^2+2(\tfrac{1}{12})(0.25)(3.95)^3+2(0.25)(3.95)(1.071)^2+$$
$$2(\tfrac{1}{36})(0.15)(3.95)^3+2(\tfrac{1}{2})(0.15)(3.95)(0.413)^2$$

$$= 13.006 \text{ m}^4$$

$$\Delta = \frac{5(141.3)(10)^4}{384(2\times10^5)(13.006)}$$

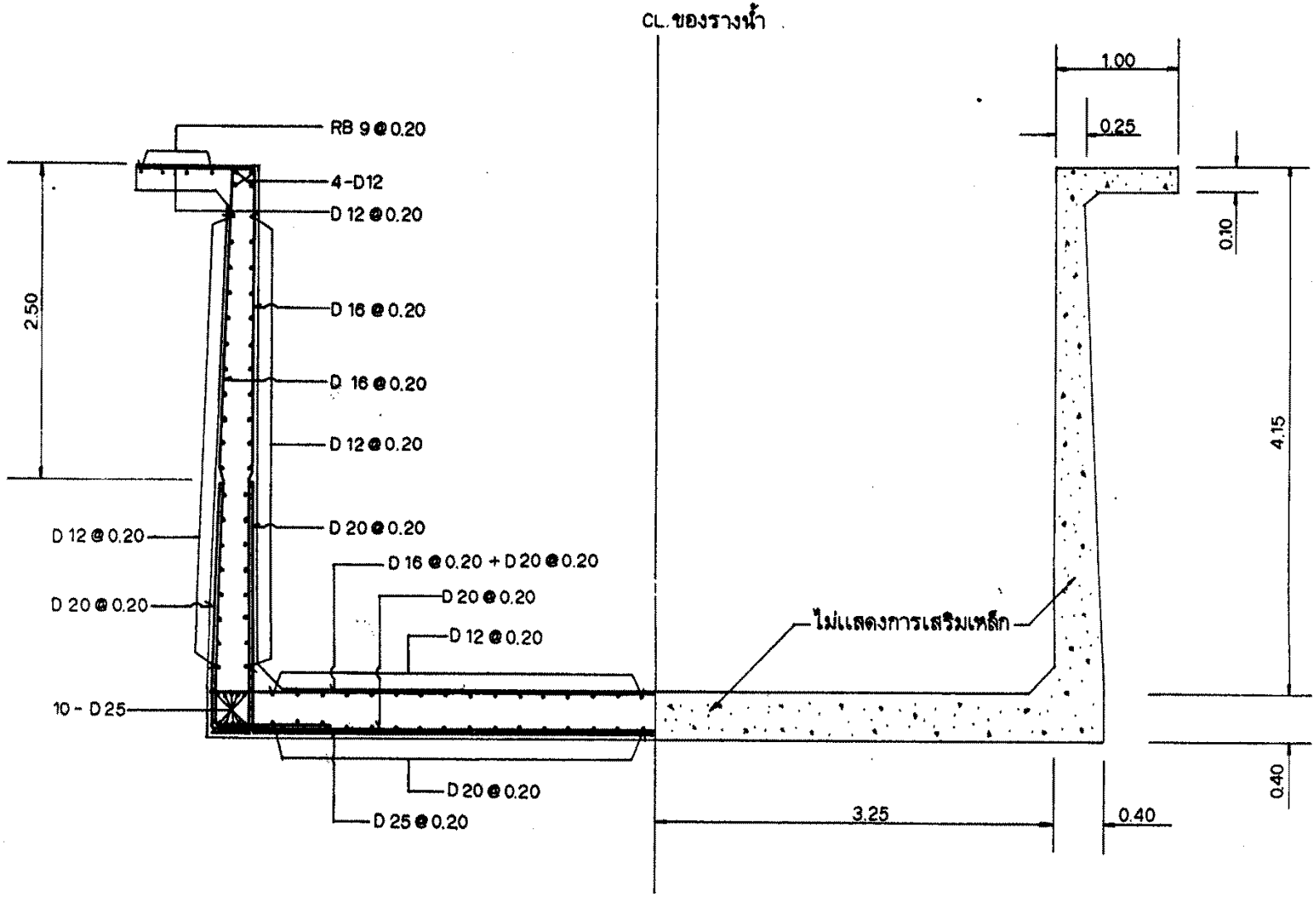
$$= 0.0071 \text{ cm.} < L/360$$

$$= 2.8 \text{ cm.} \quad \text{O.K.}$$

ถ้ารวมน้ำหนักน้ำ

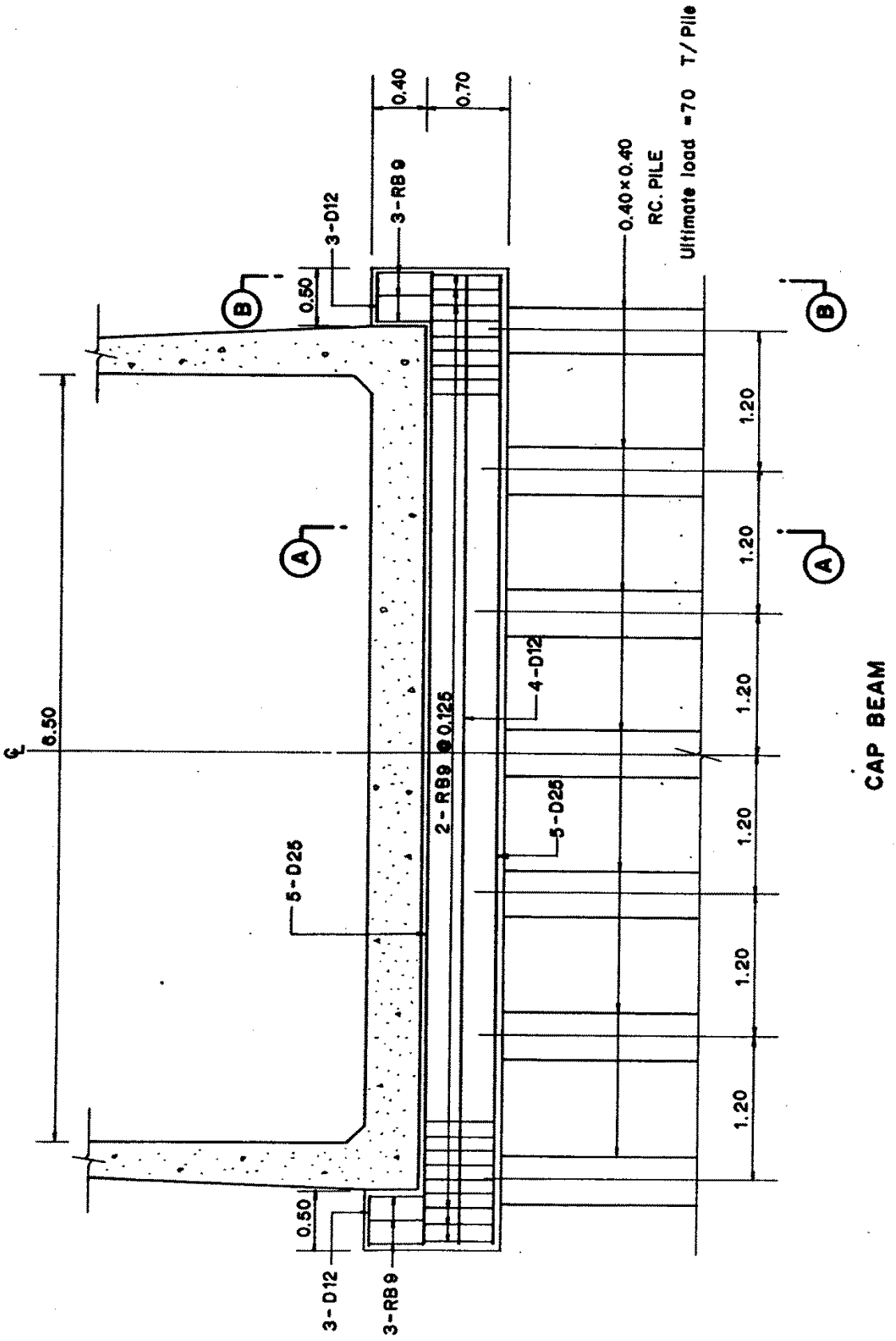
$$\Delta = \frac{5(269.75+141.3)(10^4)}{384(2\times10^5)(13.006)}$$

$$= 0.0206 \text{ cm.} < 2.8 \text{ cm.} \quad \text{O.K.}$$



ELEVATED FLUME (Sect^n 1-1 & 2-2)

1:50


0.40
0.70
3-RB9
3-D12
0.50
B
A
0.40×0.40
RC. PILE
Ultimate load =70 T/Pile
1.20
1.20
1.20
1.20
1.20
1.20
4-D12
5-D25
2-RB9 @0.125
5-D25
6.50
0.50
3-D12
3-RB9
CAP BEAM

การออกแบบท่อลอดถนนชนิดท่อเหลี่ยม

1. <u>เกณฑ์กำหนดขนาด</u>

อัตราการไหล 4.134 ม.^{3}/วินาที

คลองด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำมีขนาดเท่ากันและมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยมีข้อมูลดังนี้

- ความกว้างก้นคลอง , b 2.5 เมตร
- ความลึกการไหล , d 1.66 เมตร
- ความสูงคลอง 2.00 เมตร
- ลาดตลิ่ง (ระยะตั้ง : ระยะราบ) 1 : 1.50 เมตร

ความยาวท่อ 18.0 เมตร

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 0.014

จากรูปที่ 1 ค่าระดับต่างๆ มีดังนี้

ร.น.ส.1 +279.871 ม.(รทก.)

ร.น.ส.2 +279.721 ม.(รทก.)

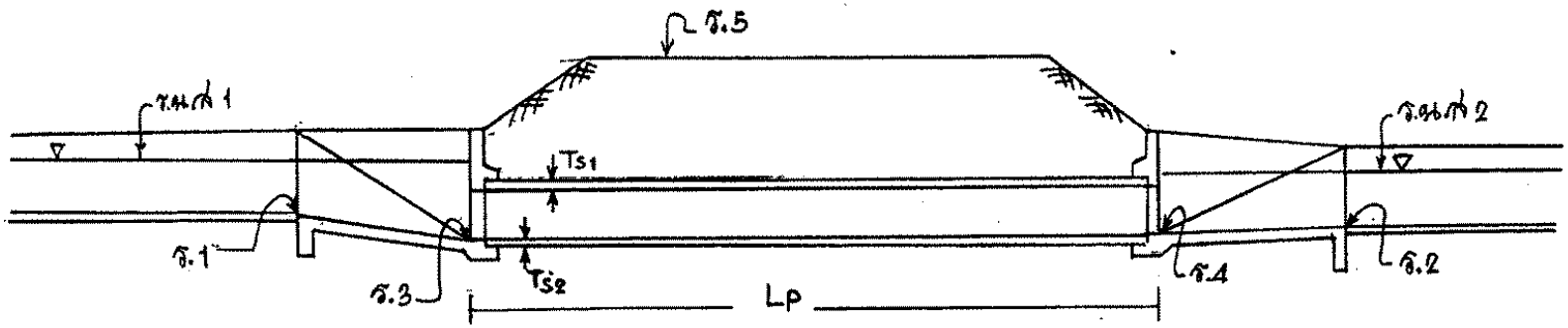
ร.1 +278.211 ม.(รทก.)

ร.2 +278.061 ม.(รทก.)

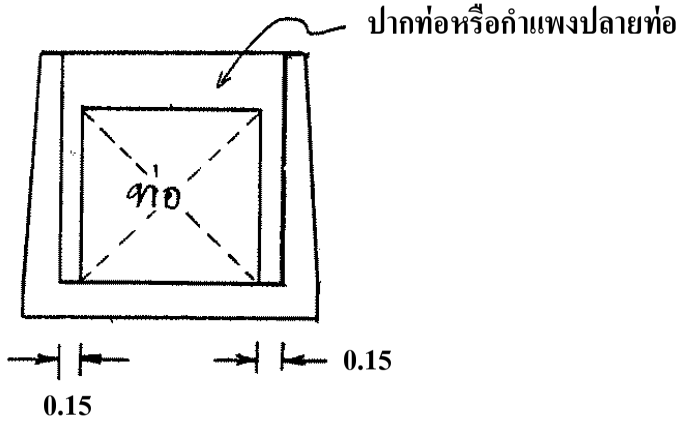
ร.5 +280.842 ม.(รทก.)

2. <u>เกณฑ์กำหนดในการออกแบบ</u>

- ความเร็วของน้ำในท่อไม่เกิน 1.50 ม./วินาที
- ดินทับหลังท่อไม่น้อยกว่า 0.90 ม.
- ความลาดเทพื้น TRANSITION ไม่เกิน 1 ต่อ 4.0
- ดินถมอัดแน่น ,γ 1.9 ตัน/ม^3
- ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ , γ 2.2 ตัน/ม^3
- มุมแรงเสียดทานภายในของดิน , ϕ 30 องศา
- Bearing Capacity ของดิน 10 ตัน/ม^2
- Friction factor ใต้ฐาน 0.6
- คอนกรีตเสริมเหล็ก, γ 2.4 ตัน/ม^3
- เหล็กรับอุณหภูมิ 0.2 % ในทุกผิว



รูปที่ 1 รูปตัดตามยาวของแนวท่อลอด



รูปที่ 2 หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ปากท่อและปลายท่อ

- กำหนดให้ใช้ COVERING 5 เซนติเมตร
- การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กให้ใช้ตามหลักการของ Working stress

$M_s = A_s.f_s.j.d$ โดย f_s = 1,500 กก./ซม^2. และ j = 0.885

$$v_c = \frac{V}{b \cdot d}$$

$$u = \frac{V}{\sum o \cdot j \cdot d}$$

$M_c = R.b.d^2$

โดย R = 11.995

- คานที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน , v_C 3.8 กก./ซม.^{2}

3. **<u>วิธีทำ</u>** สมมติออกแบบพื้นท่อด้านบน (TS1) เท่ากับ 0.25 ม. และพื้นท่อด้านล่าง (TS2) เท่ากับ 0.25 เมตร

<u>ออกแบบขนาดท่อ</u>

A = Q/V = 4.134/1.5 = 2.756 ม.^{2}

เลือกใช้ท่อขนาด (L × H) = 2.00 × 2.00 ม.^{2}

A_P = 4.00 ม.^{2}

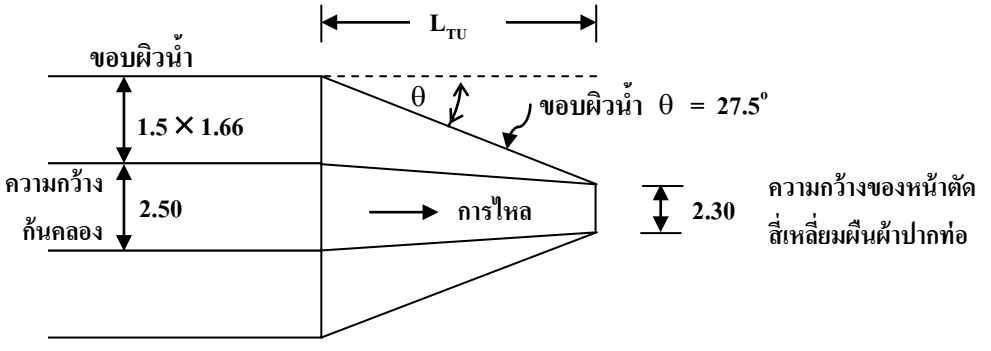
V_P = 4.134/4.00 = 1.034 ม./วินาที

น้อยกว่า 1.50 ม./วินาที **<u>OK</u>**

$h_{VP} = V_P^2/2g$

= $1.034^2/(2 \times 9.81)$ = 0.0545 ม.

<u>ออกแบบ INLET TRANSITION</u>



L_{TU} = $\left(1.5\times1.66+\frac{2.5}{2}-\frac{2.3}{2}\right)/\tan\left(27.5^{o}\right)$ = 4.98 ม.

หรือ

L_{TU} = 3 H = 3×2.0 = 6.00 ม.

เลือกใช้ L_{TU} = 6.00 เมตร

พื้นที่หน้าตัดการไหลในคลอง

A = $\left(2.5+1.5\times1.66\right)$ 1.66 = 8.283 ม.^{2}

V = $\frac{Q}{A}$ = $\frac{4.134}{8.283}$ = 0.499 ม./วินาที

h_{VC} = Velocity head ในคลอง

h_{VC} = $\frac{V^2}{2g}$ = 0.0127

Δh_V = h_{VP} - h_{VC}

= 0.0545 – 0.0127 = 0.041 ม.

$1.5\Delta h_V$ = 0.062 < 0.08 ม.

ฉะนั้นใช้น้ำท่วมปากท่อไม่น้อยกว่า 8 ซม. ในกรณีนี้เลือกใช้ 10 ซม.

ร.3 = ร.น.ส.1 – น้ำท่วมท่อ – ความสูงของท่อ (H)

= 279.871 – 0.10 -2.00

= 277.771 ม.(รทก.)

เนื่องจากดินทับหลังท่อต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. ฉะนั้นหาระดับ ร.3 ได้อีกวิธี คือ

ร.3 = ร.5 – 0.90 – 0.25 – 2.0

= 280.842 – 0.90 – 0.25 – 2.0

= 277.692 ม.(รทก.)

เลือกใช้ระดับ ร.3 = 277.661 ม.(รทก.)

ตรวจสอบความชันของ INLET TRANSITION (S_{IN})

S_{IN} = (278.211 – 277.661) / 6

= 1 ต่อ 10.91 ความชันน้อยกว่า 1 ต่อ 4.00 OK

ความสูงกำแพงปากท่อ

H_{HU} = H + ความหนาเปลือก + ความหนาดินทับหลังท่อ + 0.10

= 2.0 + 0.25 +0.30 +0.10 = 2.65 ม.

เลือกใช้ H_{HU} = 2.65 ม.

<u>ออกแบบท่อ</u>

Wetted perimeter เมื่อน้ำเต็มท่อ P = 8.0 ม.

R = A/P

= $(2 \times 2)/8.0$ = 0.50 ม.

n = 0.014

S_f = $V_P^2 \, n^2 / \, R^{4/3}$ .....ระบบเมตริก

S_f = FRICTION SLOPE

= $(1.034 \times 0.14)^2 \, / \, (0.5)^{4/3}$

= 0.000528

ความยาวท่อ 18.0 เมตร และความชันท่อไม่น้อยกว่า 0.005

ระดับ ร.4 = ระดับ ร.3 – (18.0×0.005)

= 277.571

เลือกใช้ระดับ ร.4 = +277.561 ม.(รทก.)

ความลาดชันแนวท่อ = (277.661 – 277.561) /18.0

= 1 ต่อ 180 ซึ่งมีความลาดชันมากกว่า 1 ต่อ 200 <u>OK</u>

TOTAL LOSS ผ่านท่อลอด (H_T)

H_T = $0.4 \, \Delta h_V + (L \times S_f) + 0.7 \, \Delta h_V$

= $0.4 \, (0.041) + (18.0 \times 0.000528) + 0.7 \, (0.041)$

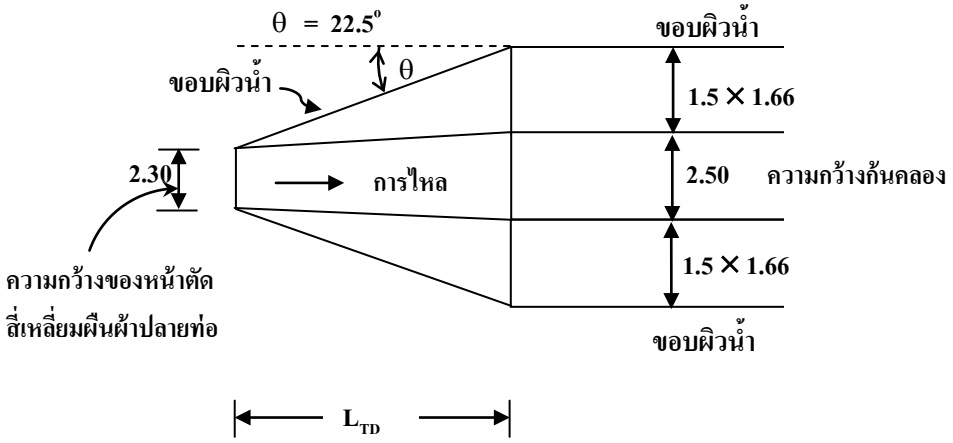
= 0.0546 ม.

ALLOWABLE LOSS = รนส.1 – รนส. 2

= 279.871 – 279.721

= 0.15 ซึ่งมากกว่า 0.0528 OK

ออกแบบ OUTLET TRANSITION



$$L_{TD} = \left[\left(1.5\times1.66+\frac{2.5}{2}\right)-\frac{2.3}{2}\right] / \tan 22.5^{\circ}$$

= 6.25 เลือกใช้ 6.50 เมตร

ความลาดชันของพื้น OUTLET TRANSITION (S_{OU})

S_{OU} = (ระดับ ร.2 – ระดับ ร.4) / L_{TD}

= (278.061 – 277.561) / 6.5

= 1 ต่อ 13 ลาดชันน้อยกว่า 1 : 4.0 OK

การออกแบบโครงสร้าง

ดินทับหลังท่อ = ระดับ ร.5 – ระดับ ร.4 – ความสูงท่อ – ความหนาท่อด้านบน

= 280.842 – 277.561 -2.0 -0.25

= 1.031 เมตร หรือ 3.382 ฟุต

พิจารณาน้ำหนักดิน 1900 กก./ม.^{3}

นน. ดินทับหลังท่อ 1.03 × 1900 = 19.57 กก./ม.^{2}

นน. เปลือกท่อด้านบน 0.25 × 2400 = 600 กก./ม.^{2}

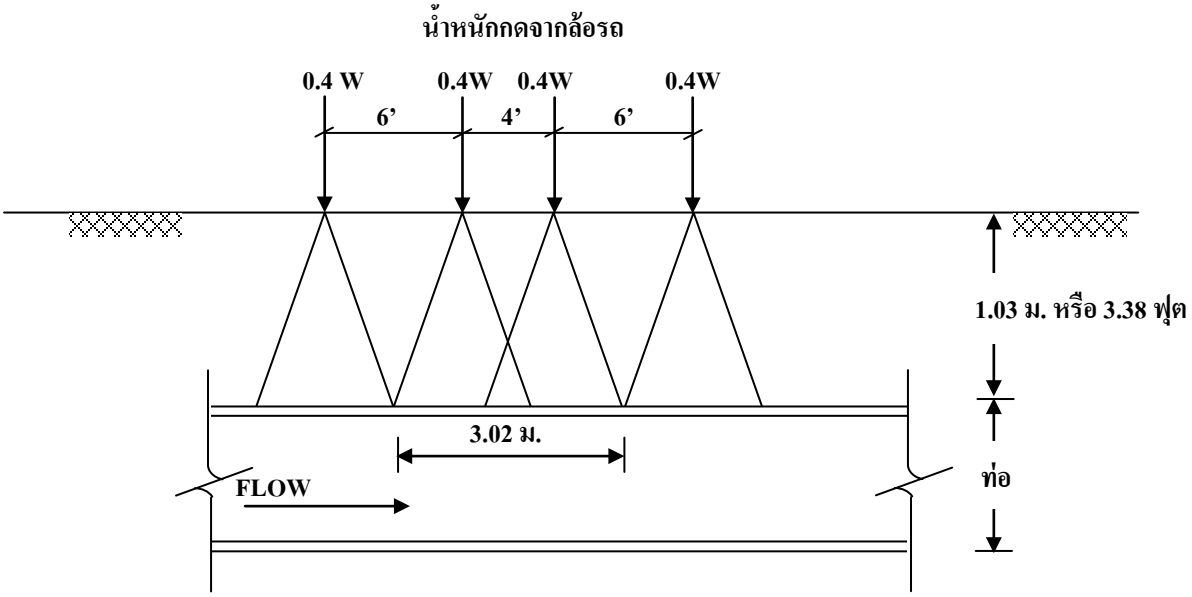
น้ำหนักกดของล้อรถ พิจารณารถบรรทุก 2 คัน แล่นสวนกันได้

พิจารณาจากรูปที่ 3 นำหนักกดของล้อรถแผ่กระจายมาซ้อนกัน

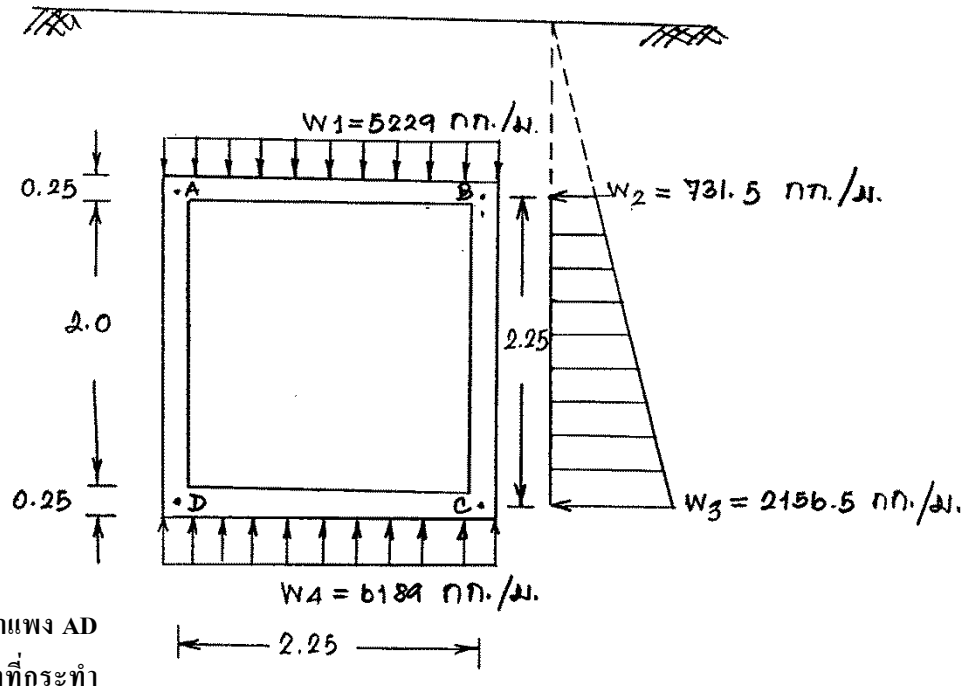
0.4 W = 16,000 ปอนด์ = 7273 กก.

นน.กดของล้อรถ $\dfrac{2 \times 7273}{3.02\ (1.03 \times 1.75)}$ = 2672 กก./ม.^{2}

ดินถมทับหลังท่อหนาเกิน 3 ฟุต ไม่คิด Impact Load จากล้อรถ



รูปที่ 3 การกระจายของ WEEL LOAD



*** แรงกระทำต่อกำแพง AD มีขนาดเท่ากับแรงที่กระทำต่อกำแพง BC**

รูปที่ 4 แรงที่กระทำต่อท่อลอด

w1 = 1957 + 600 +2672 5229 กก./ม.^{2}

สมมติ INTERNAL FRICTION ANGLE ของดิน 30 องศา

w2 = $Ka\,\gamma_{SOIL}\,h$ โดย Ka = $\frac{1-\sin 30}{1+\sin 30}$ = 1/3

= $\frac{1}{3}\times 1900\times\left(1.03+\frac{0.25}{2}\right)$

= 731.5 กก./ม.

(ใช้น้ำหนักดินถมอัดแน่น 1900 กก.ม.^{3})

w3 = $\frac{1}{3}\times 1900\times\left(1.03+0.25+2.0+\frac{0.25}{2}\right)$

= 2156.5 กก./ม.

น้ำหนักกำแพงท่อ 2 ด้าน = $\frac{2\times 2\times 0.25\times 2400}{(2.50\times 1.00)}$

= 960 กก./ม.

w4 = 5229 + 960 = 6189 กก./ม.

การแผ่กระจายของน้ำหนักน้ำในท่อลงดินใต้ฐาน

= $\frac{2\times 2\times 1\times 1000}{(2.50\times 1.00)}$ = 1600 กก./ม.^{2}

น้ำหนักเปลือกท่อด้านหลัง

= $0.25\times 1.00\times 2400$ = 600 กก./ม.

BEARING LOAD ลงดิน

= 6189 + 1600 + 600 = 8389 กก./ม.^{2}

ดินฐานรากต้องรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยไม่น้อยกว่า 9 ตัน/ตารางเมตร ถ้าไม่ใช่ก็ต้องพิจารณาตอกเสาเข็มเพื่อรับน้ำหนักแทนดิน ใช้วิธี MOMENT DISTRIBUTION ในการกระจายโมเมนต์

ช่วงคาน	ค่า K	อัตราส่วน K/EI
AB	4 EI / 2.25	1.778
BC	4 EI / 2.25	1.778
CD	4 EI / 2.25	1.778

DA	4 EI / 2.25	1.778

โดย คาน AB, BC, CD และ DA , มีค่า $I = \frac{1}{12}(1.00)\ (0.25)^3$

หาค่า FIXED END MOMENT ของแต่ละคาน

$M_{FAB} = M_{FBA} = \frac{1}{12} W_1 L^2_1$

$= \frac{1}{12} \times 5229 \times 2.25^2 = 2205$ กก.-ม.

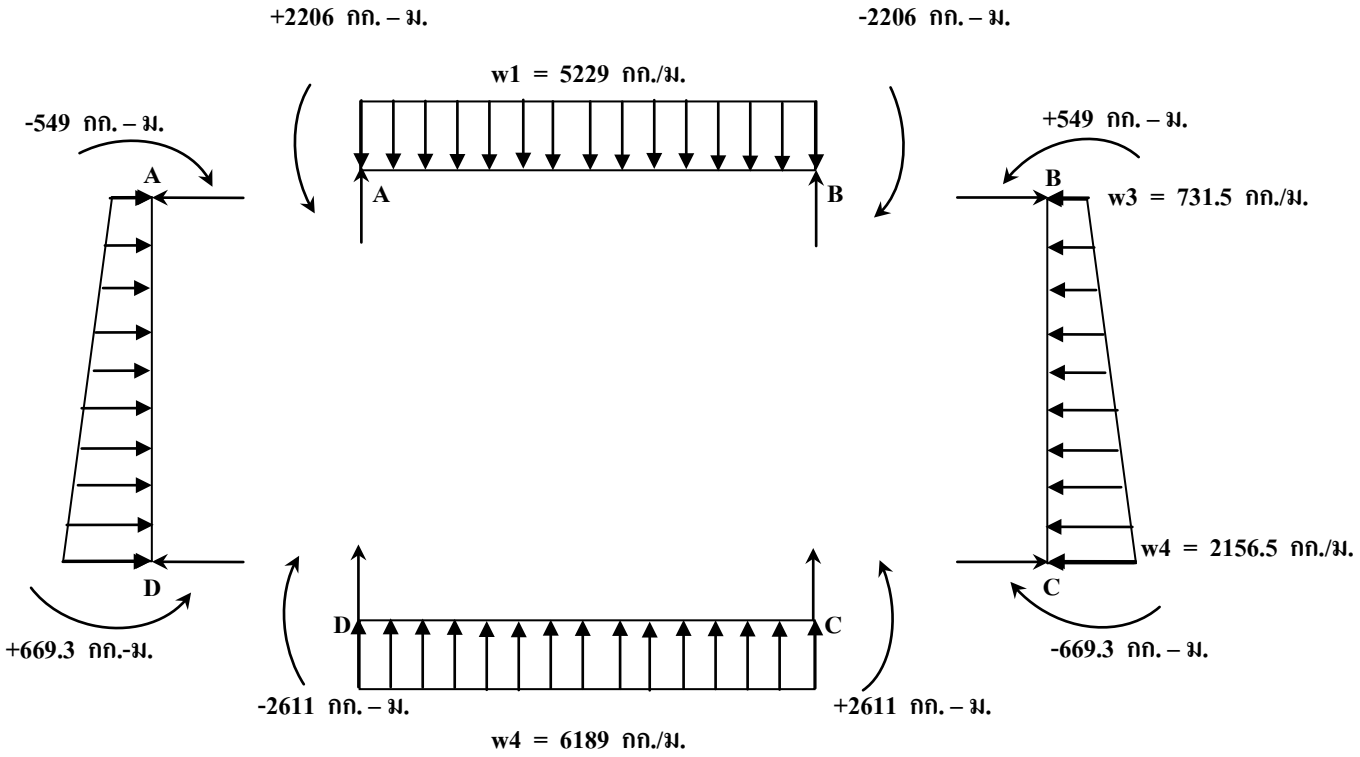
$M_{FCD} = M_{FDC} = \frac{1}{12} \times 6189 \times 2.25^2 = 2611$ กก.-ม.

$M_{FBC} = M_{FAD} = \left(\frac{1}{12} \times 731.5 \times 2.25^2\right) + \frac{1}{30} \times (2156.5 - 731.5)\ 2.25^2$

$= 549$ กก.-ม.

$M_{FCB} = M_{FDA} = \frac{1}{12} \times 731.5 \times 2.25^2 + \frac{1}{20} \times (2156.5 - 731.5)\ 2.25^2$

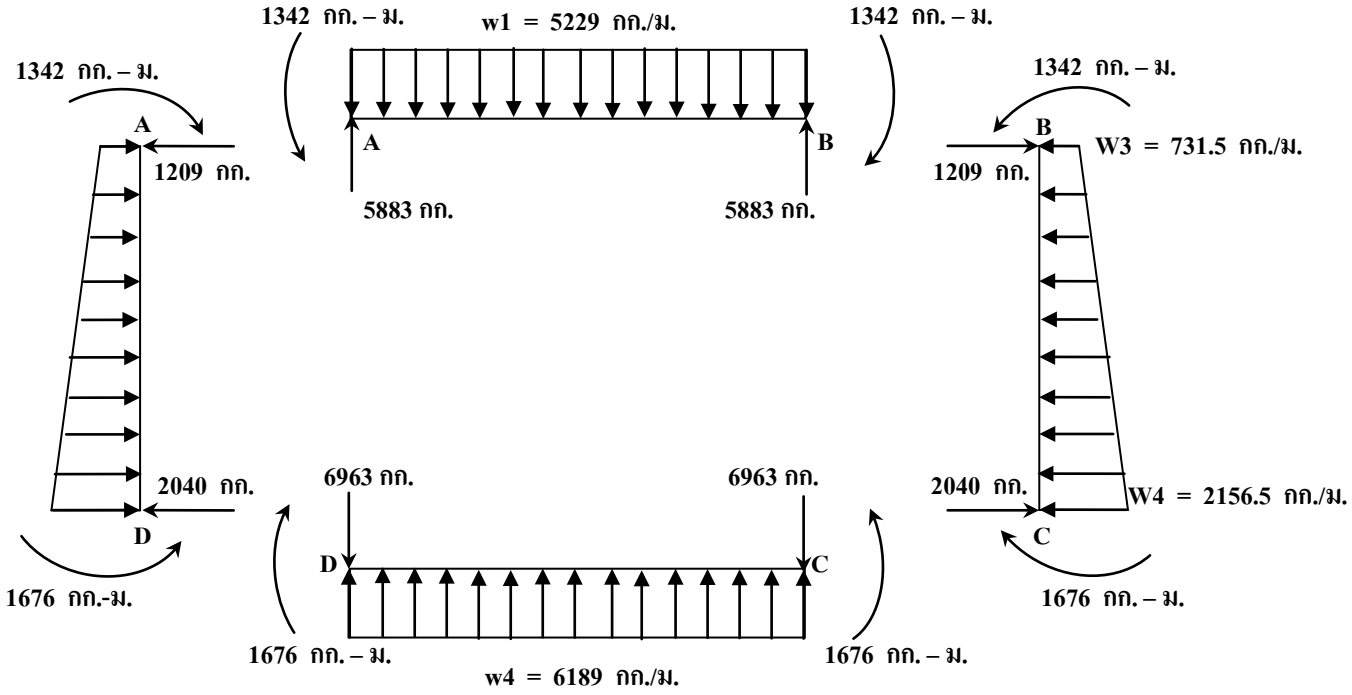
$= 669$ กก.-ม.



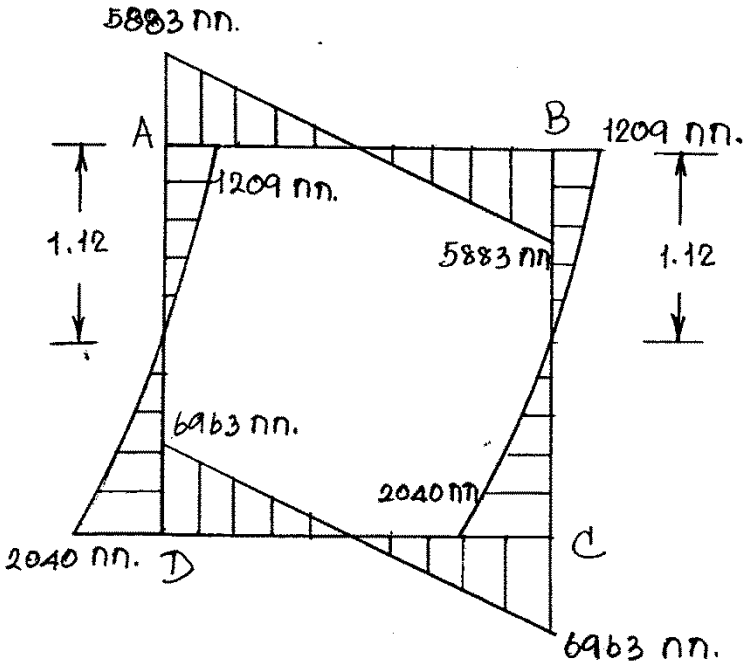
รูปที่ 5 โมเมนต์ที่เกิดในแต่ละคานก่อนการกระจาย

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์การถ่ายโอนโมเมนต์โดยวิธี Moment Distribution

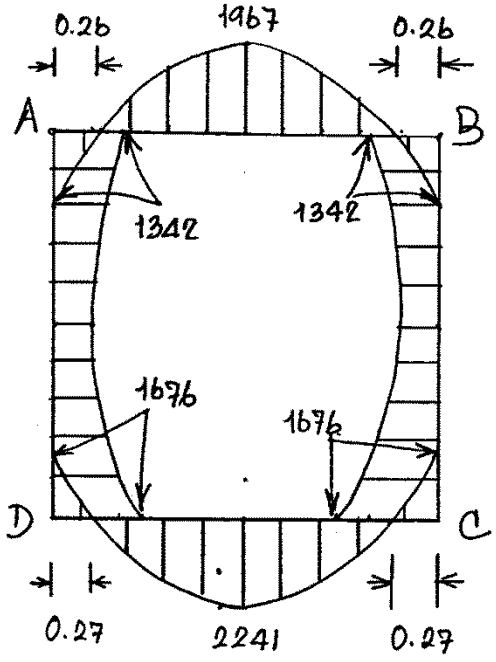
JOINT		A		B		C		D	
MEMBER		AD	AB	BA	BC	CB	CD	DC	DA
K		1.778	1.778	1.778	1.778	1.778	1.778	1.778	1.778
CYCLE	DF	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
1	MOMENT	-549.07	2206.00	-2206.00	549.07	-669.30	2611.00	-2611.00	669.30
	DISTRIBUTION	-828.47	-828.47	828.47	828.47	-970.85	-970.85	970.85	970.85
2	CARRY OVER	485.43	414.23	-414.23	-485.43	414.23	485.43	-485.43	-414.23
	DISTRIBUTION	-449.83	-449.83	449.83	449..83	-449.83	-449.83	449.83	449.83
3	CARRY OVER	224.91	224.91	-224.91	-224.91	224.91	224.91	-224.91	-224.91
	DISTRIBUTION	-224.91	-224.91	224.91	224.91	-224.91	-224.91	224.91	224.91
4	CARRY OVER	112.46	112.46	-112.46	-112.46	112.46	112.46	-112.46	-112.46
	DISTRIBUTION	-112.46	-112.46	112.46	112.46	-112.46	-112.46	112.46	112.46
5	CARRY OVER	56.23	56.23	-56.23	-56.23	56.23	56.23	-56.23	-56.23
	DISTRIBUTION	-56.23	-56.23	56.23	56.23	-56.23	-56.23	56.23	56.23
6	CARRY OVER	28.11	28.11	-28.11	-28.11	28.11	28.11	-28.11	-28.11
	DISTRIBUTION	-28.11	-28.11	28.11	28.11	-28.11	-28.11	28.11	28.11
SUM		**-1341.94**	**1341.94**	**-1341.94**	**1341.94**	**-1675.75**	**1675.75**	**-1675.75**	**1675.75**



รูปที่ 6 โมเมนต์และ SHEAR ที่เกิดในแต่ละคานหลังจากมีการกระจาย



รูปที่ 7 SHEAR DIAGRAM



รูปที่ 8 MOMENT DIAGRAM

จากการวิเคราะห์ SHEAR และ BENDING MOMENT

<u>คาน AB</u>

dm = $\sqrt{\frac{M}{Rb}}$ = $\sqrt{\frac{1967\times100}{11.995\times100}}$ = 12.8 ซม.

dv = $\frac{V}{bv}$ = $\frac{5883}{100\times3.8}$ = 15.8 ซม.

เลือกใช้ d = 20 ซม. และ COVERING = 5.00 ซม.

A_S รับโมเมนต์บวกกลางคาน (เหล็กผิวล่าง)

$$A_S^{+} = \frac{M}{fs\cdot j\cdot d}$$

$$= \frac{1967\times100}{1500\times0.885\times20} = 7.41 \text{ ซม.}^2$$

A_S รับโมเมนต์ลบปลายคาน (เหล็กผิวบน)

$$A_S^{-} = \frac{1342\times100}{1500\times0.885\times20} = 5.05 \text{ ซม.}^2$$

เหล็กรับอุณหภูมิ

$$A_{St} = 0.002\times100\times25 = 5.00 \text{ ซม.}^2$$

<u>คาน CD</u>

dm = $\sqrt{\frac{2241\times100}{11.995\times100}}$ = 13.67 ซม.

dv = $\frac{6963}{100\times3.80}$ = 18.32 ซม.

เลือกใช้ d = 20 ซม. และ COVERING = 5.00 ซม.

A_S รับโมเมนต์บวกกลางคาน (เหล็กผิวบน)

$$A_S^{+} = \frac{2241\times100}{1500\times0.885\times20} = 8.44 \text{ ซม.}^2$$

A_S รับโมเมนต์ลบปลายคาน (เหล็กผิวต่างๆ)

$$A_S^{-} = \frac{1676\times100}{1500\times0.885\times20} = 6.31 \text{ ซม.}^2$$

เหล็กรับอุณหภูมิ

$$A_{St} = 0.002\times100\times25 = 5.00 \text{ ซม.}^2$$

<u>คาน BC และ คาน AD</u>

dm = $\sqrt{\frac{1676\times100}{11.995\times100}}$ = 11.82 ซม.

dv = $\frac{2040}{100\times3.80}$ = 5.37 ซม.

เลือกใช้ d = 20 ซม. และ COVERING = 5.00 ซม.

A_S รับโมเมนต์ลบ (เหล็กผิวนอก)

A_S^- = $\frac{1676\times100}{1500\times0.885\times20}$ = 6.31 ซม.^{2}

ส่วนเหล็กผิวในใช้เหล็กรับอุณหภูมิ = 5.00 ซม.^{2}

<u>กำหนดขนาดเหล็ก</u>

<u>คาน AB</u>

- เหล็กผิวล่าง

  16 @ 0.26 A_S = 7.73 ซม.^{2} และ ΣO = 19.33 ซม.

- เหล็กผิวบน

  16 @ 0.30 A_S = 6.70 ซม.^{2} และ ΣO = 16.76 ซม.

<u>คาน CD</u>

- เหล็กผิวบน

  16 @ 0.23 A_S = 8.74 ซม.^{2} และ ΣO = 21.85 ซม.

- เหล็กผิวล่าง

  16 @ 0.30 A_S = 6.70 ซม.^{2} และ ΣO = 16.76 ซม.

<u>คาน BC และ AD</u>

- เหล็กผิวนอก

  16 @ 0.30 A_S = 6.70 ซม.^{2} และ ΣO = 16.76 ซม.

- เหล็กผิวบน

  12 @ 0.22 A_S = 5.14 ซม.^{2} และ ΣO = 17.14 ซม.

ตรวจสอบ BONDING STRESS (u)

- ดูจากเกณฑ์การคำนวณคอนกรีตเสริมเหล็กของกรมชลประทาน

คาน AB

$$u = \frac{V}{\sum o \cdot j \cdot d} = \frac{5883}{16.76 \times 0.885 \times 20}$$

$$= 19.83 \text{ กก./ซม.}^2 \text{ มากกว่า } 18.90 \text{ กก./ซม.}^2$$

ซึ่งแสดงว่า $\sum O$ ของเหล็ก 16 @ 0.30 ไม่พอแต่ในทางปฏิบัติมีการเสริมเหล็กผิวนอกของกำแพงยืนเข้ามาที่พื้น AB ด้วย ฉะนั้นตรงปลายคานเสมือนมีเหล็ก 2 ชุด คือ

1) 16 @ 0.30 และ 2) 16 @ 0.30

คาน CD

เหล็กรับแรงดึงที่ปลายคานเป็นเหล็กผิวล่าง

$$u = \frac{6963}{16.76 \times 0.885 \times 20} = 23.47 > 18.9$$

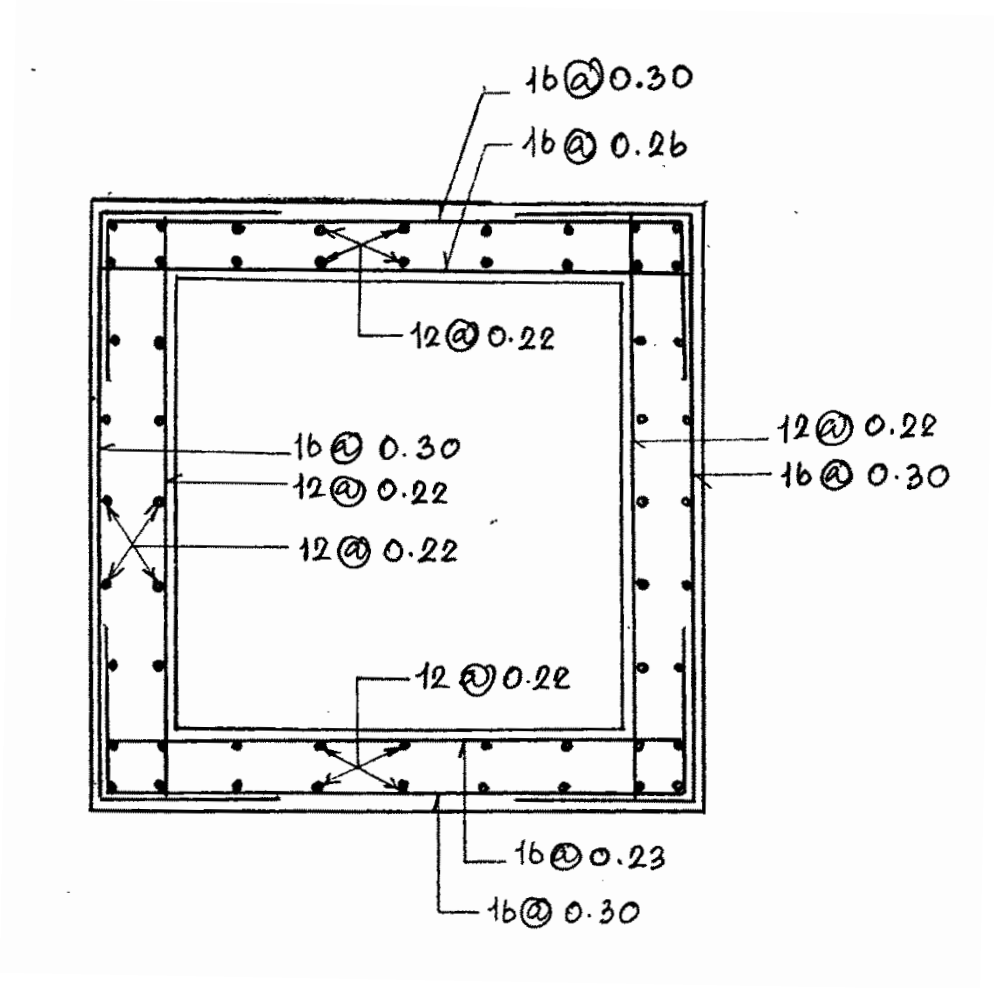
แต่เหตุผลเดียวกับคาน AB คือเสมือนมีเหล็ก 16 @ 0.30 2 ชุด $\sum O = 33.52$ ซม.^{2}

$$\therefore \quad u = \frac{6963}{33.52 \times 0.885 \times 20} = 11.47 < 18.9 \quad \underline{OK}$$

คาน BC และ AD

เหล็กรับแรงดึงปลายคานเป็นเหล็กผิวนอก

$$u = \frac{2040}{16.76 \times 0.885 \times 20} = 6.87 \not> 18.9 \quad \underline{OK}$$



รูปที่ 9 เหล็กเสริมในหน้าตัดท่อลอด

DESIGN OF VERTICAL DROP WITH NOTCH CONTROL

1. คลอง

	เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	
อัตราการไหล, Q	0.907	0.907	ม.^{3}/วินาที
ความกว้างก้นคลอง, b	0.80	0.80	ม.
ความลึกของน้ำ, d	0.80	0.80	ม.
ความสูงคอนกรีตดาดคลอง, H_c	1.00	1.00	ม
ความสูงหลังคันคลอง, H_b	1.30	1.30	ม.
ลาดด้านข้างคลอง, 1: m	1: 1.5	1: 1.5	
ลาดพื้นคลอง, L_s	1: 4000	1: 4000	
สัมประสิทธิ์แมนนิ่ง, n	0.016	0.016	
ระดับก้นคลอง, INV	+91.592	+90.592	ม.(รทก.)
ระดับน้ำสูงสุดในคลอง, รนส.	+92.392	+91.392	ม.(รทก.)

2. CONTROL NOTCH

พิจารณาตรงตำแหน่ง CONTROL NOTCH

ความกว้างพื้น, $B \geq b_u$ $B = 0.8$ ม.

ความสูงกำแพง NOTCH, $T \geq d_u$ $T = 0.85$ ม.

ดูรูปประกอบ

$Z = T + (H_{cu} - d_u) = 0.85 + (1-0.8) = 1.05$ ม.

ปริมาณน้ำไหลข้าม WING WALL ไม่น้อยกว่า $0.25\ Q_d$

$Q_w = 0.227$ ม.^{3}/วินาที

ความยาว WING WALL $L = B + 3T$

$= 0.8 + 3(0.85) = 3.35$ ม.

ความสูงน้ำเหนือ WING WALL $= H_{cu} - T$

$= 1 - 0.85 = 0.15$ ม.

ปริมาณน้ำไหลข้าม WING WALL

$$Q = C_d\ L\ H^{3/2}$$

$$= 1.82 \times 3.35 \times 0.15^{3/2}$$

$$= 0.354 > 0.227 \text{ ม.}^3/\text{วินาที}$$ **OK.**

คำนวณหา NORMAL DEPTH ในคลอง เมื่อ Q เท่ากับ 0.2 Q_d และใช้สมการ MANNING

∴ เมื่อ Q = 0.189 จะได้ความลึก d_u = 0.37 ม.

หาค่าความลาดเอียงของช่อง NOTCH (S) โดยกำหนดค่า P และใช้ Q เท่ากับ 1.0 Q_d และ 0.2 Q_d

สมการไหลผ่าน NOTCH $Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}\ T^{3/2}\left(P + \frac{4}{5} \cdot S \cdot T\right)$

Q	**P**	**C_d**	**T หรือ d_u +0.05**	**S**
0.189	0.25	0.65	0.37 + 0.05	0.33
0.907	0.25	0.65	0.80 + 0.05	0.52

เลือกใช้ S = 0.55 และ P = 0.25 ม.

$N = P + 2 \cdot S \cdot T$

$= 0.25 + 2(0.55)(0.85) = 1.185$ เมตร

3. STILLING BASIN

คำนวณหา CRITICAL DEPTH ตรง CONTROL NOTCH จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{N}$$

$$\frac{(0.907)^2}{9.81} = \frac{[(P + Sy_c)y_c]^3}{[P + 2Sy_c]}$$

$$0.0839 = \frac{[(0.25 + 0.55y_c)y_c]^3}{0.25 + 2(0.55)y_c}$$

Trial + Error ได้ $y_c = 0.7$ ม.

$A_c = 0.444$

$V_c = \frac{Q}{A_c} = \frac{0.907}{0.444} = 2.04$ ม./วินาที

$h_{vc} = \frac{V_c^2}{2g} = 0.212$ ม.

Δh = รนส.1 - รนส.2

= 92.392 - 91.392 = 1.0 ม.

เลือกใช้ R = 0.20 ม.

F = $\Delta h + R$

= 1.0+0.20 = 1.20 ม.

ใช้หลักการของพลังงานระหว่างหน้าตัดการไหลตรง NOTCH และหน้าตัดการไหล (1) ใน STILLING BASIN

$$F + y_c + \frac{V_c^2}{2g} = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$1.2 + 0.7 + 0.212 = d_1 + \frac{1}{2\times 9.81}\left[\frac{0.907}{(0.8+1.5d_1)\ d_1}\right]^2$$

$$2.112 = d_1 + \frac{0.0419}{\left[(0.8+1.5d_1)\ d_1\right]^2}$$

TRIAL AND ERROR ได้ $d_1 = 0.143$ ม.

ตรวจสอบ FROUDE NUMBER

V_1 = 0.907 / [(0.8+1.5 x 0.143)0.143]

= 0.907/0.145 = 6.25 ม/วินาที

A = 0.145 $ม^2$

ความกว้างผิวน้ำ B_w = 0.8+ 2(1.5)(0.143)

= 1.229

$$F_{r1} = \frac{V}{\sqrt{gA/B_w}} = 5.81 > 1 \text{ SUPERCRITICAL FLOW}$$

ใช้หลักการของ MOMENTUM ขณะเกิด HYDRAULIC JUMP ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เพื่อหา d_2

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{Q^2}{gA_1} + \overline{d_1}A_1 = \frac{Q^2}{gA_2} + \overline{d_2}A_2$$

$$\frac{Q^2}{gA_1} + \frac{d_1^2}{6}(2md_1 + 3B) = \frac{Q^2}{gA_2} + \frac{d_2^2}{6}(2md_2 + 3B)$$

$$\frac{Q^2}{gA_1} + \frac{d_1^2}{2}(d_1 + B) = \frac{Q^2}{gA_2} + \frac{d_2^2}{2}(d_2 + B) \quad \textbf{..... (1)}$$

$A_1 = (0.8 + 1.5 \times 0.143)(0.143) = 0.145$ ม.^{2}

แทนค่าลงในสมการที่ (1)

$$\frac{(0.907)^2}{9.81x0.145} + \frac{(0.143)^2}{2}(0.143 + 0.8) = \frac{(0.907)^2}{9.81(0.8+1.5d_2)d_2} + \frac{d_2^2}{2}(0.8 + d_2)$$

$$0.598 = \frac{0.0839}{(0.8+1.5d_2)d_2} + \frac{d_2^2}{2}(0.8 + d_2)$$

TRIAL AND ERROR ได้ $d_2 = 0.82$ ม.

ตรวจสอบ FROUDE NUMBER

$A_2 = (0.8 + 1.5 \times 0.82)\ 0.82 = 1.665$ ม.^{2}

$B_{w2} = 0.8 + 2 \times 1.5 \times 0.82 = 3.26$ ม.

$V_2 = 0.907 / 1.665 = 0.545$ ม./วินาที

$$F_{r2} = \frac{0.545}{\sqrt{9.81 \times 1.665/3.26}} = 0.243 < 1$$

ซึ่งเป็นการไหลแบบ SUBCRITICAL

$$L_3 = L_d + L_j$$

$$= V_c\sqrt{2F/g} + 3d_2$$

$$= 2.04\sqrt{2 \times 1.2/9.81} + 3 \times 0.82$$

$$= 3.469$$

เลือกใช้ $L_3 = 3.6$ เมตร*

4. TRANSITION

L_1 = $3\ d_u$ = 3×0.8 = 2.4 ม.

เลือกใช้ 2.5 ม.

L_4 = $4\ d_d$ = 4×0.8 = 3.2 ม.

เลือกใช้ 3.5 ม. *

L_2 = T = 0.85 เลือกใช้ 1.0 ม. *

5. WEIGHTED CREEP RATIO และ UPLIFT

จากการจำแนกเนื้อดินประเภท COURSE SAND มี $C_w = 5.0$

เลือกออกแบบความลึกของ CUTOFF ดังนี้

H_1 = 0.6 และ H_2 = 0.6 เมตร

H_3 = 0.7 และ H_4 = 0.7 เมตร

ดูรูปประกอบ

VERTICAL PATH, L_v = $(2H_1 - 0.15) + (2H_2 - 0.15 - 0.20) + (F-0.2+0.20) + (H_3 - 0.20)$

$+ (H_3 + R - 0.15) + (2\ H_4 - 0.15)$

L_v = $2(0.6) - 0.15 + [2(0.6) - 0.15 - 0.20] + [1.2 - 0.2 + 0.20]$

$+ [0.7 - 0.20] + [0.7 + 0.20 - 0.15] + [2(0.7-0.15)]$

= 5.60

HORIZONTAL PATH, L_H = $(L_1 + L_2 + L_3 + L_4) / 3$

= $(2.5 + 1.0 + 3.6 + 3.5) / 3$

= 3.53 ม.

Max. Head = F + T

= 1.2 + 0.85 = 2.05 ม.

$C_w = \frac{5.60 + 3.53}{2.05}$

= $4.45 < 5.0$ ไม่ผ่าน

ต้องเพิ่ม CREEPING PATH, L = 2.05(5) - (5.60+3.53)

= 1.12 ม.

พิจารณาเพิ่มความลึกของ CUTOFF

H_1 = 0.8 ม. และ H_2 = 0.8 ม.
H_3 = 0.8 ม. และ H_4 = 0.8 ม. } *

คำนวณ L_v ใหม่ได้ L_v = 6.80 ม.

$$C_w = \frac{6.80 + 3.53}{2.05} = 5.04 > 5.0 \quad \textbf{OK.}$$

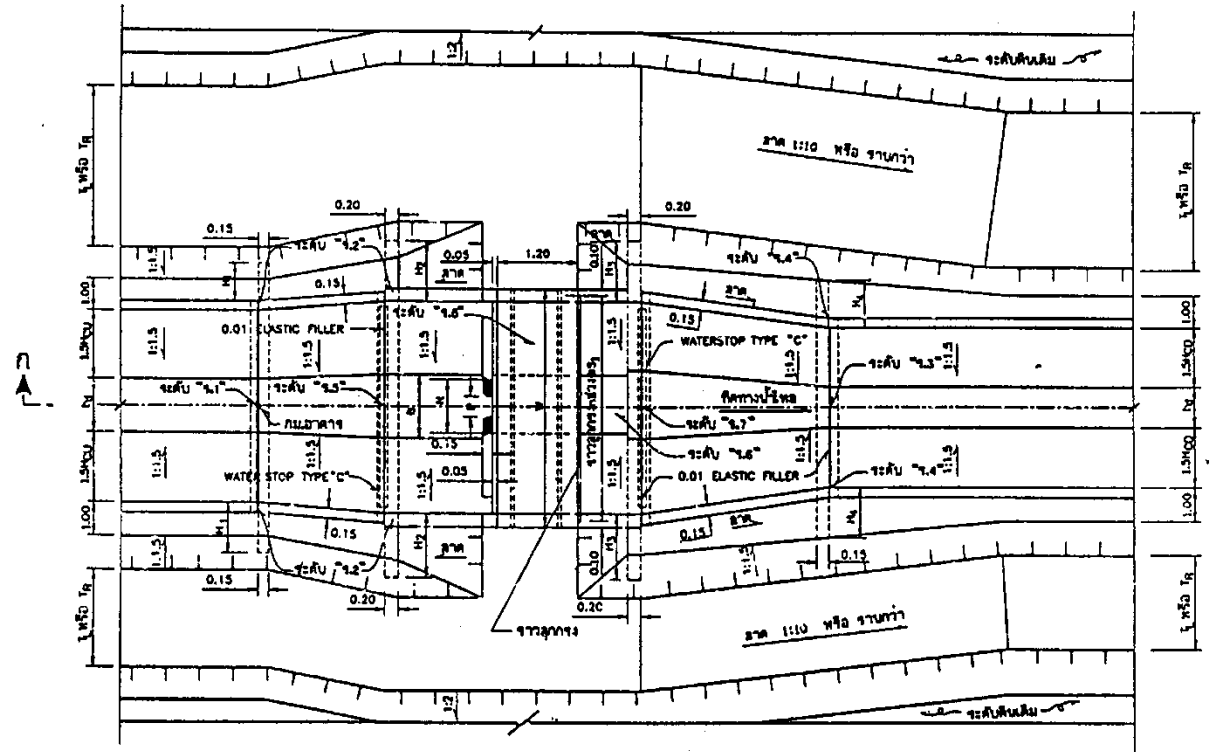
ตรวจสอบความยาวของอาคารว่าเกิด SHORT PATH หรือไม่

Min L_1 = 1.2 (H_1 - 0.15) = 0.78 < 2.5 **OK.**

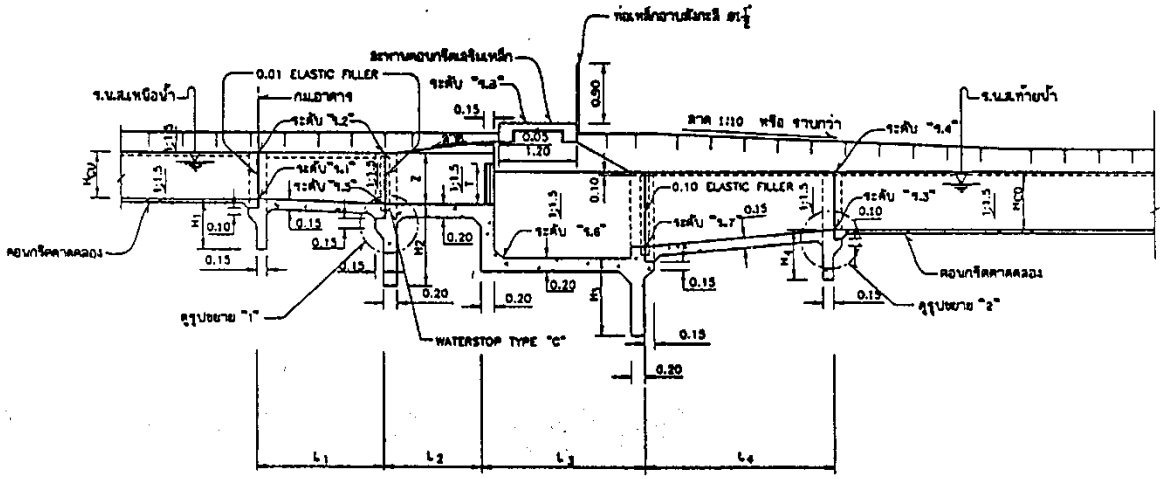
Min L_2 = 1.2 (H_2 - 0.20) = 0.72 < 1.0 **OK.**

Min L_4 = 1.2 (H_3 + R - 0.15) = 1.02 < 3.5 **OK.**

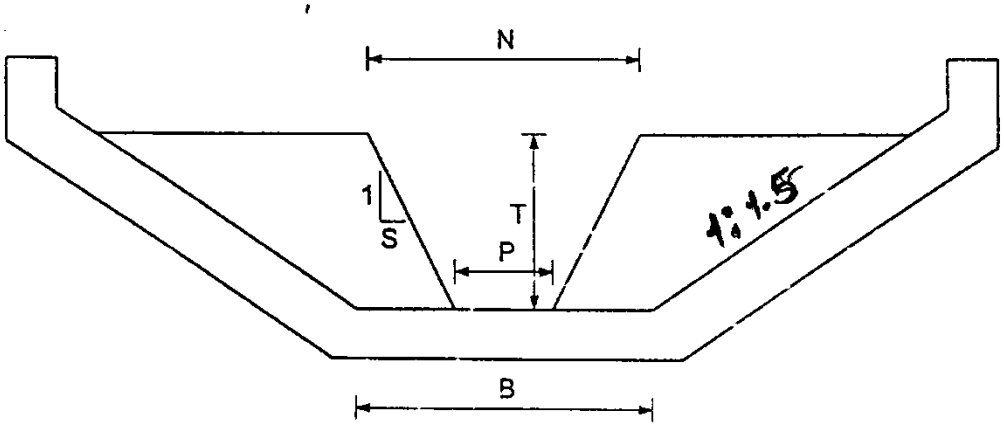
ขั้นตอนต่อไปให้พิจารณาคำนวณระดับต่างๆ (ดูรูปประกอบ) จากขนาดต่างๆ ที่ออกแบบได้ และตรวจสอบความลาดเทของ INLET TRANSITON (ช่วง L_1) ต้องไม่เกิน 1: 4 และตรวจสอบความลาดเทของ OUTLET TRANSITION (ช่วง L_4) ต้องไม่เกิน 1: 4 ถ้าเกินให้ปรับแก้ความยาว L_1 และ L_4



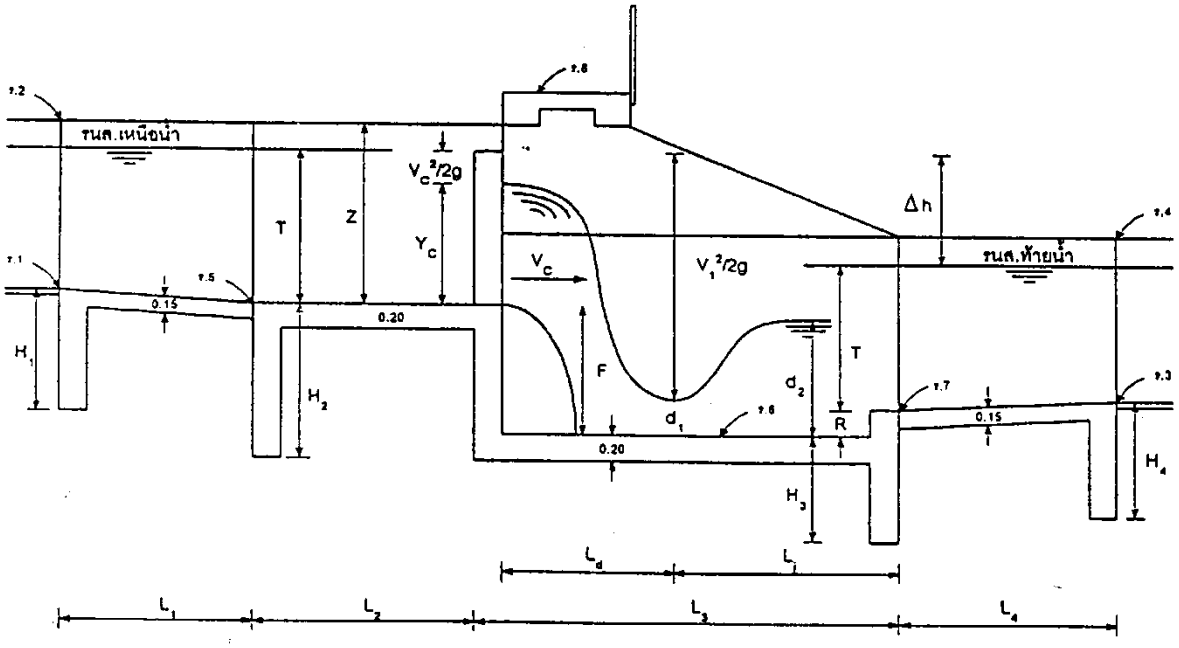
แปลน
ไม่แสดงมาตราส่วน



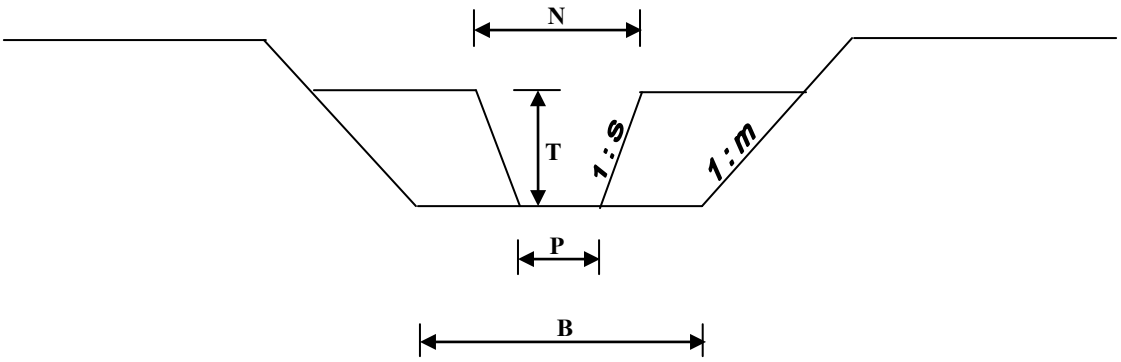
รูปตัด ก - ก
ไม่แสดงมาตราส่วน


N
1
S
T
P
1:1.5
B

NOTCH


ท.2
ระดับน้ำเหนือน้ำ
ท.6
$V_c^2/2g$
T
Z
Y_c
V_c
$V_1^2/2g$
Δh
ท.4
ระดับน้ำท้ายน้ำ
ท.1
ท.5
0.15
0.20
H_1
H_2
F
d_1
d_2
T
R
ท.7
ท.8
ท.3
0.15
H_4
H_3
L_d
L_j
L_1
L_2
L_3
L_4

<u>การไหลผ่าน NOTCH</u>



กรณี COMPLETE FLOW หรือ FREE FLOW

$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}\ d^{3/2}\ (P + \frac{4}{5} \cdot S \cdot d)$

C_d = สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ

= 0.65 ถึง 0.70

P = ความกว้างพื้นช่อง

S = ลาดข้างช่อง NOTCH

d = ความลึกของน้ำเหนือพื้นช่อง NOTCH ก่อนน้ำโค้งตัว

DESIGN OF VERTICAL DROP WITH WEIR CONTROL

1. คลอง

	เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	
อัตราการไหล, Q	0.907	0.907	ม.^{3}/วินาที
ความกว้างก้นคลอง, b	0.80	0.80	ม.
ความลึกของน้ำ, d	0.80	0.80	ม.
ความสูงของคอนกรีตคาดคลอง, H_c	1.00	1.00	ม.
ความสูงหลังคันคลอง, H_b	1.30	1.30	ม.
ลาดด้านข้างคลอง 1: m	1:1.5	1:1.5	ม.
ลาดพื้นคลอง, LS	1:4000	1:4000	
สัมประสิทธิ์แมนนิ่ง, n	0.016	0.016	
ระดับก้นคลอง, INV	+91.592	+90.592	ม.(รทก.)
ระดับน้ำสูงสุดในคลอง, รนส.	+92.392	+91.392	ม.(รทก.)

2. DUCKBILL WEIR (ดูรูปประกอบ)

กำหนดอาคารอัดน้ำ (CHECK) เป็นประเภท DUCKBILL WEIR ที่มีสันมน (ROUNDED CREST) มีค่า C เท่ากับ 0.36

$$Q = CL\sqrt{2g}\ H_{crt}^{(3/2)}$$

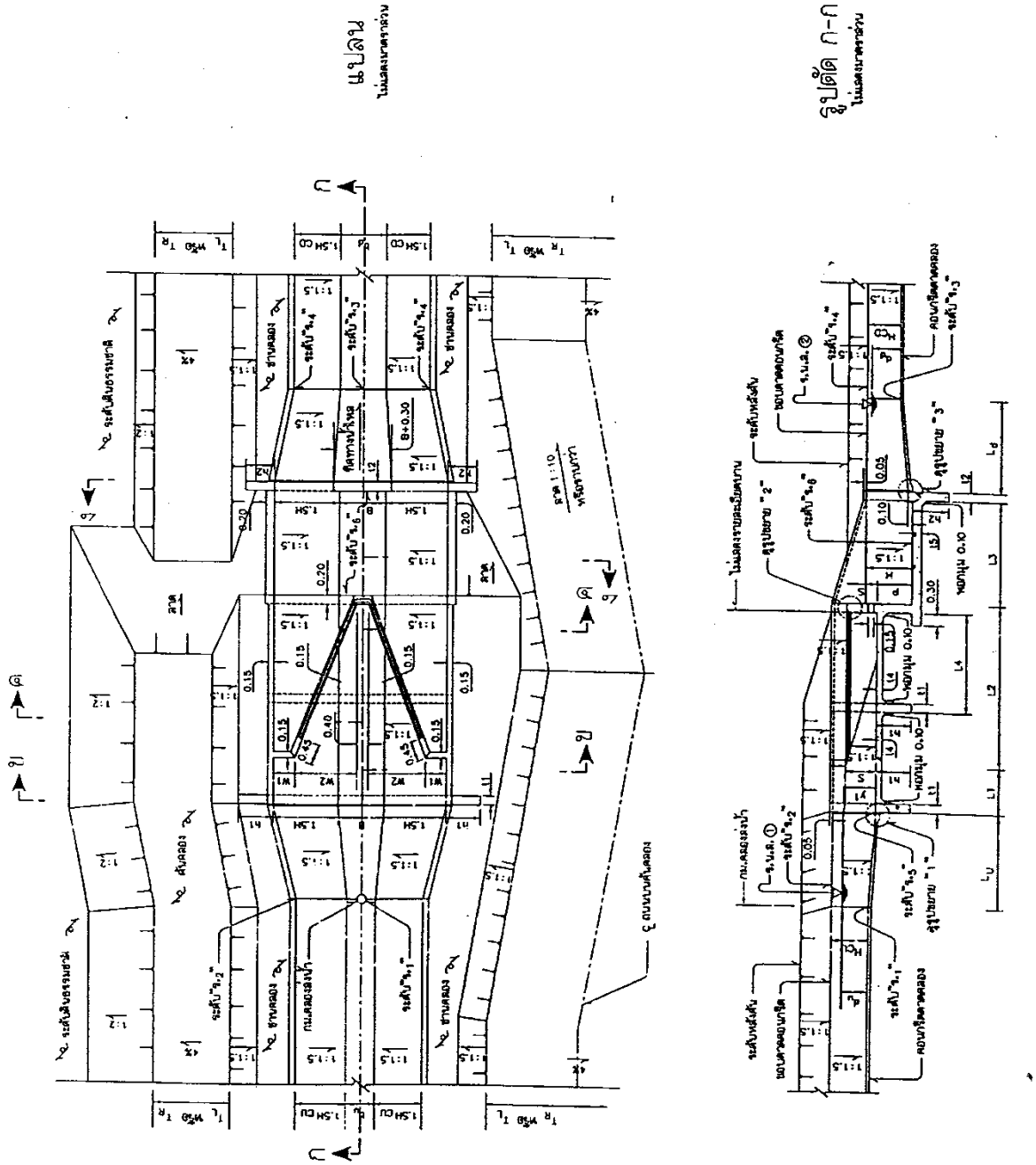
กำหนดให้มุมระหว่างแนวสันฝายกับเส้นตั้งฉากกับทางน้ำ, α มีค่าอยู่ระหว่าง 45 ถึง 75 องศา

$y_1 = d_u + 0.1 = 0.8 + 0.1 = 0.9$ ม.

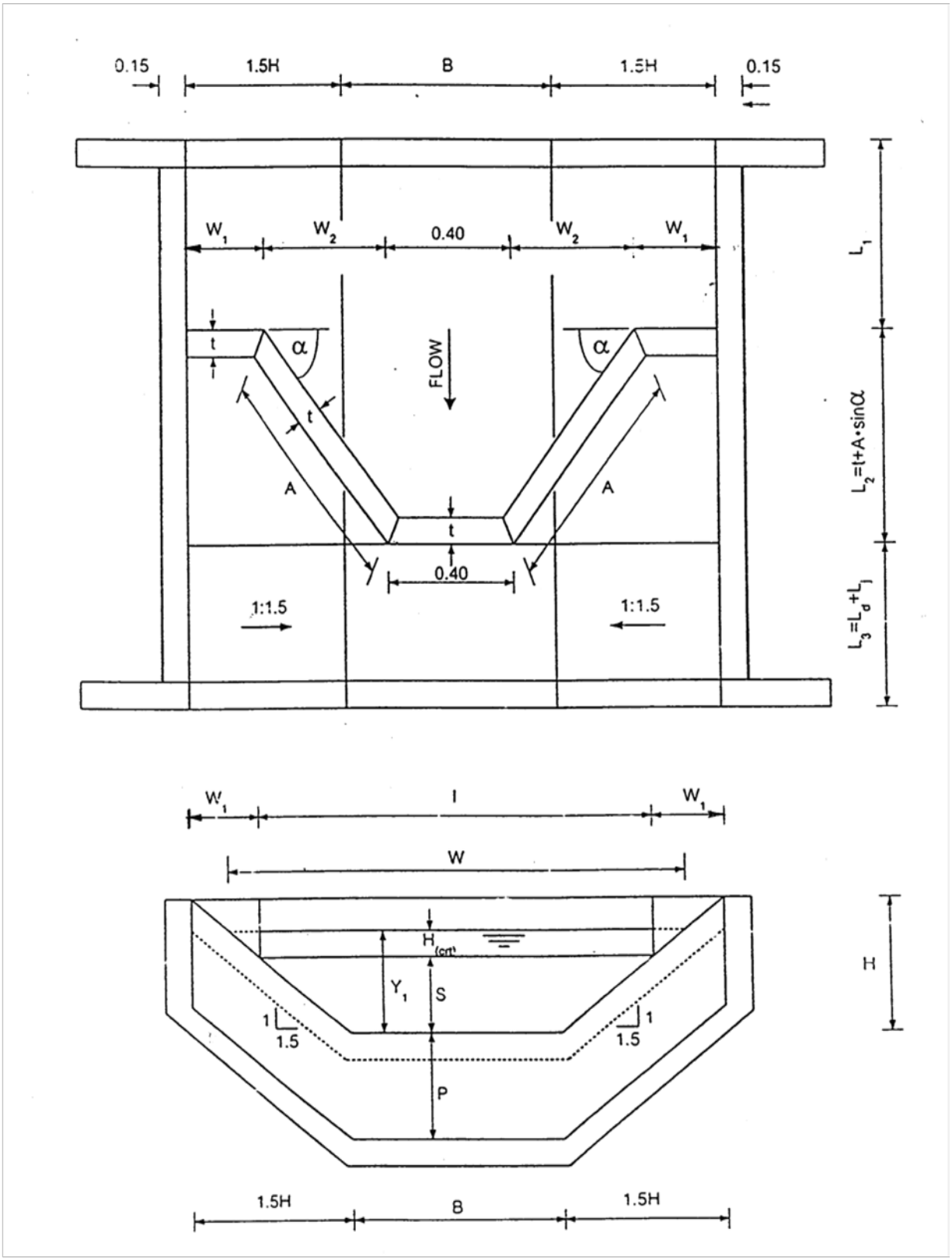
ออกแบบความกว้างก้นคลอง, B, ตรงฝาย มีค่าดังต่อไปนี้

$B \geq b_u$ และ $B \geq 0.40$ ม.

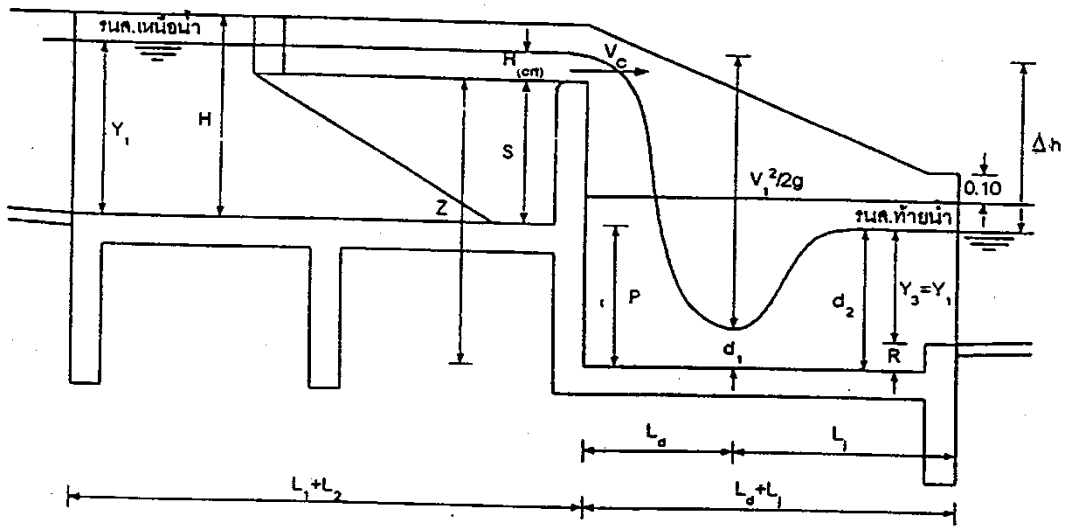
เนื่องจาก b_u เท่ากับ 0.80 ม. เลือกใช้ B = 1.0 ม.



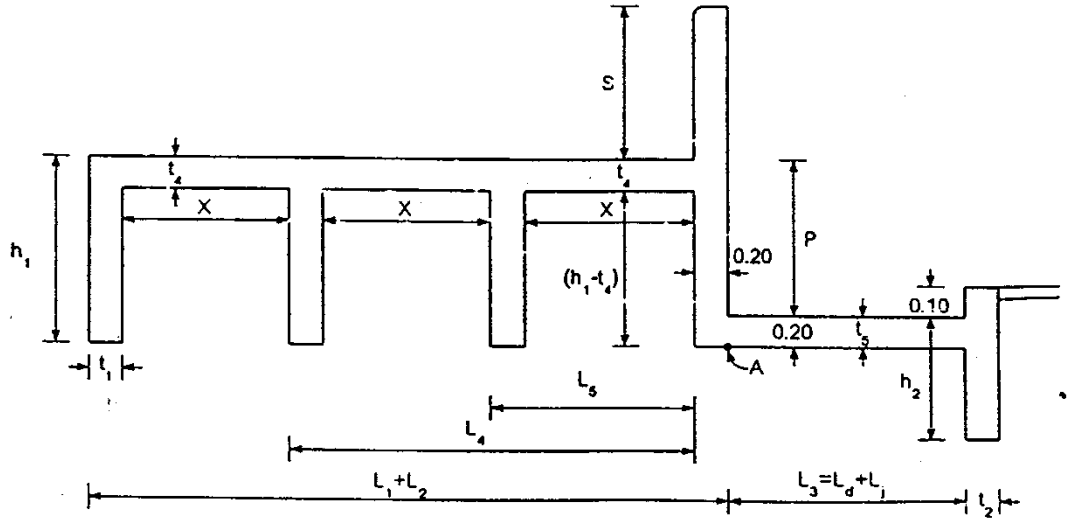
อาคารน้ำตกดิ่งทดน้ำ Type A และ B



Stilling basin



WEIGHTED CREEP RATIO และ UPLIFT



$H = y_1 + (H_{cu} - d_u) + 0.05$

$= 0.9 + (1-0.80) + 0.05 = 1.15$ ม.

$S = 0.85\, y_1$

$= 0.85 \times 0.9 = 0.765$ ม.

เลือกใช้ $= 0.77$ ม.

$H-S = 1.15 - 0.77 = 0.38$ ม.

$W_1 = 1.5\,(H-S)$

$= 1.5\,(0.38) = 0.57$ ม.

$W_2 = 0.5B + 1.5S - 0.20$

$= 0.5(1.0) + 1.5(0.77) - 0.20$

$= 1.455$

$H_{crt} = y_1 - s$

$= 0.9 - 0.77 = 0.13$ ม.

จากรูปสันฝายประกอบไปด้วย 2 ส่วน

1. สันฝายไม่ลบเหลี่ยม (UNROUNDED) ค่า C = 0.32

2. สันฝายมน (ROUNDED) ค่า C = 0.36 และมีความยาวสันฝาย, L = 2A + 0.40 -0.90

อัตราการไหลข้ามสันฝายไม่ลบเหลี่ยม,มี L เท่ากับ 0.90 ม.

$Q_1 = CL\sqrt{2g}\, H_{crt}^{(3/2)}$

$= 0.32\,(0.90)\,\sqrt{2\times 9.81}\,(0.13)^{1.5}$

$= 0.06$ ม.^{3}/วินาที

$Q_2 = Q_d - Q_1$

$= 0.907 - 0.06 = 0.847$ ม.^{3}/วินาที

อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความยาว (q) ที่ไหลข้ามสันฝายมน

$q = C\sqrt{2g}\, H_{crt}^{(3/2)}$

$= 0.36\,\sqrt{2\times 9.81}\,(0.13)^{1.5}$

$= 0.0747$ ม.^{3}/วินาที

ความยาวของสันมน (B_t) ที่ต้องการ

B_t = 0.847/0.0747 = 11.338 ม.

เลือกใช้ B_t = 11.35 ม.**

$A = 0.5\,B_t - 0.20 + 0.45$

$= 0.5\,(11.35) - 0.20 + 0.45$

= 5.925 ม.

ตรวจสอบมุม α

$\cos\alpha = W_2 / A$

$\alpha = \cos^{-1}(1.455/5.925)$

= 75.78 มากกว่า 75 องศา *

ออกแบบ B ใหม่เป็นใช้ B = 1.20 ม. *

$W_2 = 0.5\,(1.20) + 1.5(0.77) - 0.20 = 1.555$

$\cos\alpha = 1.555/5.925 = 0.262$ ม.

α = 74.81 น้อยกว่า 75 องศา

$L_1 \geq y_1$

เลือกใช้ $L_1 = 1.00$

$L_2 = A \sin\alpha$

$= 5.925 \sin(74.81) = 5.717$ ม.

3. STILLING BASIN

ออกแบบระยะ DROP ของกำแพง (P) = 1.20 ม.*

ใช้หลักการของพลังงานตรงตำแหน่ง y_1 และตำแหน่ง d_1 ซึ่งอยู่ใน STILLING BASIN

$$d_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_1 + P \qquad \text{..... (1)}$$

โดย $A_1 = (B + 1.5\,d_1)\,d_1$

$= (1.20 + 1.5\,d_1)\,d_1$

และ $V_1 = \dfrac{0.907}{(1.2+1.5d_1)d_1}$

แทนค่าลงในสมการที่ (1)

$$d_1 + \frac{[0.907/(1.2+1.5d_1)d_1]^2}{2\times 9.81} = 0.9 + 1.20$$

Trial and Errors $d_1 = 0.106$ ม.

$A_1 = 0.144$ ม.

$V_1 = 0.907/0.144 = 6.299$ ม./วินาที

ความกว้างผิวน้ำตรง d_1

$B_w = 1.2 + 2(1.5)(0.106) = 1.518$ ม.

ตรวจสอบ FROUDE NUMBER

$$F_{r1} = \frac{V}{\sqrt{gA/B}}$$

$$= \frac{6.299}{\sqrt{9.81\times\frac{0.144}{1.518}}} = 6.53 > 1$$

เป็นการไหลแบบ SUPERCRITICAL

พิจารณาหน้าตัดที่ d_1 และ d_2 ใน STILLING BASIN โดยใช้สมการ MOMENTUM ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เนื่องมาจากการเกิด HYDRAULIC JUMP

$$M_1 = M_2$$

$$\frac{Q^2}{gA_1} + \frac{d_1^2}{6}(2m\,d_1 + 3B) = \frac{Q^2}{gA_2} + \frac{d_2^2}{6}(2m\,d_2 + 3B)$$

$$\frac{Q^2}{gA_1} + \frac{d_1^2}{2}(d_1 + B) = \frac{Q^2}{gA_2} + \frac{d_2^2}{2}(d_2 + B)$$

$$\frac{(0.907)^2}{9.81\times 0.144} + \frac{(0.106)^2}{2}(0.106 + 1.20) = \frac{(0.907)^2}{9.81(1.20+1.5d_2)d_2} + \frac{d_2^2}{2}(d_2 + 1.20)$$

$$0.589 = \frac{(0.084)}{(1.20+1.5d_2)d_2} + \frac{d_2^2}{2}(d_2 + 1.20)$$

Trial and Error

$d_2 = 0.745$ ม.

$y_3 + R = 0.80 + 0.20 = 1.00$ ม.

$\therefore\ d_2 < (y_3 + R)$ **O.K.**

ตรวจสอบ FROUDE NUMBER ของการไหล ตรงหน้าตัด d_2 ต้องได้ค่าน้อยกว่า 1.0 หรือเป็นการไหลแบบ SUBCRITICAL FLOW

หาความยาวของ STILLING BASIN โดย

$L_d = V_c\sqrt{2Z/g}$

$L_g = 3d_2$

$L_3 = L_d + L_j = V_c\sqrt{2Z/g} + 3\,d_2$

$Z = S + P$

$= 0.77 + 1.20 = 1.97$ ม.

หาความลึกวิกฤต (CRITICAL DEPTH) ที่เกิดบนสันฝาย

$H_c = \sqrt[3]{(Q/L)^2/g}$

พิจารณาความยาวสันฝาย L รวมส่วนที่เป็น UNROUNDED CREST ด้วย (ดูรูปประกอบ)

$L = B_t + 0.45 + 0.45$

$= 11.35 + 0.45 + 0.45 = 12.25$ ม.

$H_c = \sqrt[3]{(0.907/12.25)^2/9.81} = 0.082$ ม.

$V_c = 0.907/(12.25 \times 0.082) = 0.0735$ ม./วินาที

$L_d = 0.0735\sqrt{2\times1.97/9.81} = 0.047$ ม.

$L_j = 3 \times 0.745 = 2.235$ ม.

$L_3 = L_d + L_j = 0.047 + 2.235 = 2.282$ ม.

แต่ L_3 ต้องไม่น้อยกว่า $2.5\,L_1$

$2.5\,L_1 = 2.5 \times 1.0 = 2.50$ ม.

เลือกใช้ $L_3 = 2.5$ เมตร**

4. <u>สรุป</u>

$Q_d = 0.907$ ม^3/วินาที

$P = 1.20$ ม.

$B = 1.20$ ม.

$y_1 = 0.90$ ม.

$H = 1.15$ ม.

$S = 0.77$ ม.

W_1 = 0.57 ม.

W_2 = 1.555 ม.

L_1 = 1.00 ม.

L_2 = 5.72 ม.

L_3 = 2.50 ม.

5. WEIGHTED CREEP RATIO AND UPLIFT

จากการจำแนกเนื้อดินเป็นประเภท COURSE SAND มี $C_w = 5.0$

Max ΔH = P + S

= 1.20 + 0.77 = 1.97 ม.

N = จำนวน CUTOFF ช่วง $L_1 + L_2$ ซึ่งจะใช้เท่ากับ 2 หรือ 3

เลือกใช้ N = 2 และออกแบบส่วนต่างๆ ดังนี้

t_1 = 0.15 ม. และ t_2 = 0.20 ม.

t_4 = 0.20 ม. และ t_5 = 0.20 ม.

h_1 = 0.60 ม. และ h_2 = 0.80 ม.

หาระยะทางของทางเดินน้ำทั้งแนวดิ่งและแนวราบ

$L_v = N(2h_1) - N(2t_4) + t_4 + (P - t_4 + t_5) + (h_2 - t_5) + (h_2 + R)$

$= 2(2 \times 0.6) - 2(2 \times 0.20) + 0.20 + (1.2\text{-}0.20 + 0.20) + (0.8\text{-}0.20) + (0.8 + 0.20)$

$= 2.4 + 0.8 + 0.2 + 1.20 + 0.6 + 1.0 = 4.6$ ม.

$L_H = (L_1 + L_2 + L_3 + t_2) / 3$

$= (1 + 5.72 + 2.5 + 0.20) / 3 = 3.14$ ม.

$C_w = (L_v + L_H) / \Delta H$

$= (4.6 + 3.14)/1.97 = 3.93$ ซึ่งน้อยกว่า 5.0 **ไม่พอ**

ระยะทางเดินน้ำที่ต้องการ = $5 \times 1.97 = 9.85$ ม.

ระยะทางที่ขาดไป = $9.85 - (4.6 + 3.14) = 2.11$ ม.

พิจารณาเพิ่มระยะทางเดินน้ำในแนวดิ่งโดยเพิ่มความลึก CUTOFF และเพิ่มจำนวนของ CUTOFF เป็น 3 ใช้ $h_1 = 0.8$ ม. และ $t_1 = 0.20$ ม.

L_v = $3(2 \times 0.8) - 3(2 \times 0.20) + 0.20 + (1.20 - 0.2 + 0.20) + (0.8 - 0.20)$

$+ (0.8 + 0.20)$

= 6.60

ระยะที่เพิ่มขึ้น (6.60 - 4.60 = 2) ยังไม่พอเพียง ฉะนั้นพิจารณาเพิ่มความยาวในแนวราบโดยใช้

L_1 = 1.50 ม.

L_H = $(1.5 + 5.72 + 2.5 + 0.20) / 3$

= 3.31 ม.

C_w = $(6.60 + 3.31)/1.97$ = 5.028 ซึ่งมากกว่า 5.0 **O.K.**

ตรวจสอบการเกิด SHORT PATH โดยต้องใช้เงื่อนไขต่อไปนี้

X ≥ $1.2 (h_1 - t_4)$ **

X = $\frac{1}{3}(1.5 + 5.72 - 4 \times 0.20)$ = 2.14 ม.

$1.2 (h_1 - t_4)$ = $1.2(0.80 - 0.20)$ = 0.72 ม.

X > $1.2 (h_1 - t_4)$ **O.K.**

หา UPLIFT ที่จุด A

L_v = $3(2 \times 0.80) - 3(2 \times 0.20) + 0.20 + (1.20 - 0.20 + 0.20)$

= 5.0 ม.

L_H = $(1.5 + 5.72)/3$ = 2.41 ม.

UPLIFT ที่จุด A

U_A = $[1.97 - \frac{(5+2.41)}{5.028}] \times 1,000$ ม.

= 496.25 กก./ม^2

หา t_5 = $\frac{496.25}{2400}$ = 0.21 ม.

เลือกใช้ t_5 = 0.22 ม.

6. TRANSITION

L_u = $3d_u$

= $3(0.80)$ = 2.4 ม.

เลือกใช้ L_u = 2.5 ม.*

L_d = $4d_u$

= 4(0.80) = 3.2 ม.*

7. <u>กำหนดระดับ</u>

ร.1 = INV.1 = +91.592 ม.(รทก.)

รนส. เหนือน้ำ = รนส.1 = +92.392 ม.(รทก.)

ร.2 = ร.1 + H_{cu} = 91.592 + 1 = +92.592 ม. (รทก.)

ร.5 = รนส. เหนือน้ำ - y_1

= +92.392 - 0.90 = +91.492 ม.(รทก.)

ตรวจสอบความลาดเทของ UPSTREAM TRANSITION (L_u)

ความลาดเท = (ร.1 - ร.5) / L_u

= (91.592 - 91.492) / 2.5

= 1:25 น้อยกว่า 1:4 **<u>OK.</u>**

ร.3 = INV.2 = +90.592 ม.(รทก.)

รนส. (2) = +91.392 ม.(รทก.)

ร.4 = ร.3 + H_{cd} = 90.592 + 1 ม.(รทก.)

= 91.592 ม.(รทก.)

ระดับพื้น BASIN

ร.6 = ร.5 - P = 91.492 - 1.20

= +90.292 ม.(รทก.)

ตรวจสอบความลาดเทของ DOWNSTREAM TRANSITION

ความลาดเท = [ร.3- (ร.6 + R)] / L_d

= (90.592 - 90.292 - 0.20) / 3.2

= 1: 32 น้อยกว่า 1: 40 **<u>OK.</u>**

DESIGN OF INCLINED DROP WITH WEIR CONTROL

1. คลอง

	เหนือน้ำ (u)	ท้ายน้ำ (d)	
อัตราการไหล, Q	0.47	0.47	ม.^{3}/วินาที
ความกว้างก้นคลอง, b	0.60	0.60	ม.
ความลึกของน้ำ, d	0.482	0.482	ม.
ความสูงของคอนกรีตดาดคลอง, H_c	0.65	0.65	ม.
ความสูงหลังคันคลอง, H_b	0.95	0.95	ม.
ลาดด้านข้างคลอง, 1: m	1:1.5	1:1.5	
ลาดพื้นคลอง , LS	1/1000	1/1000	
สัมประสิทธิ์แมนนิ่ง , n	0.018	0.018	
ระดับก้นคลอง, INV	+104.45	+103.05	ม.(รทก.)
ระดับน้ำสูงสุดในคลอง, รนส	+104.932	+103.532	ม.(รทก.)

2. อาคารทดน้ำ DUCKBILL WEIR

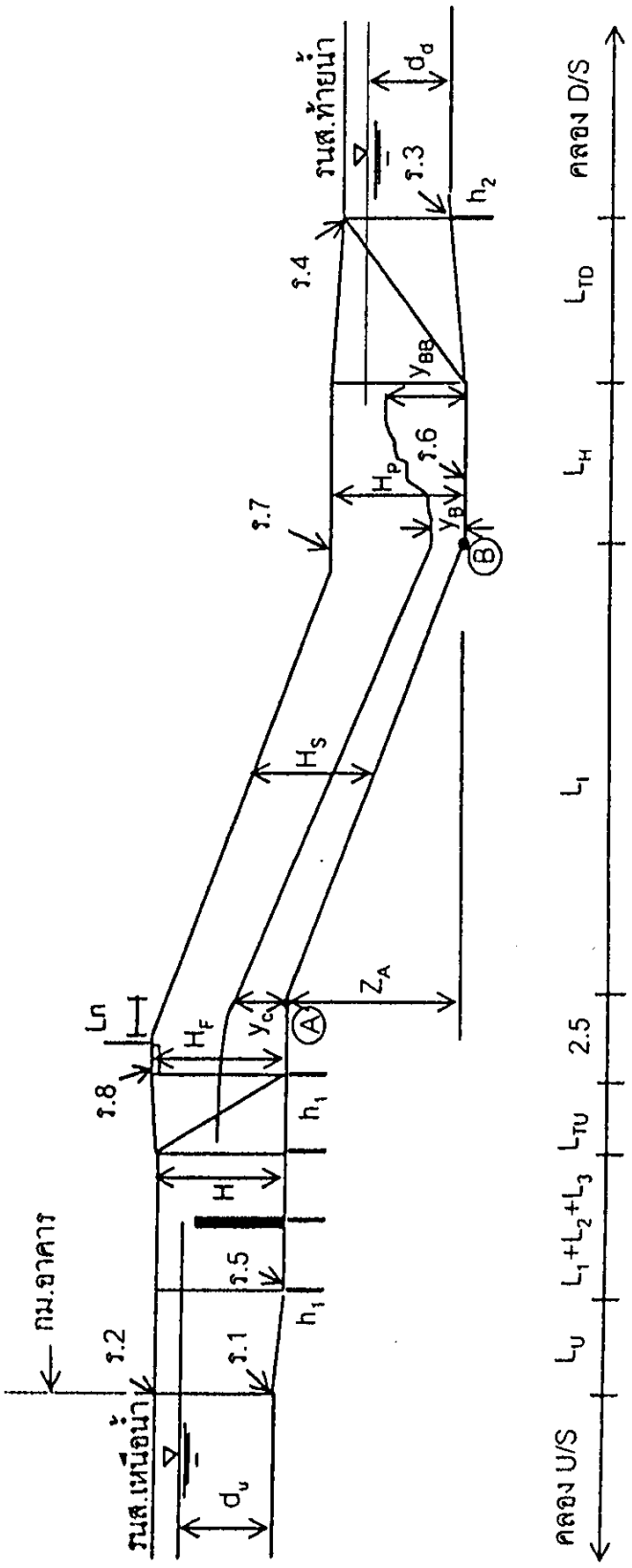
วิธีการออกแบบ DUCKBILL WEIR เหมือนการออกแบบในตัวอย่างของ VERTICAL DROP WITH WEIR CONTROL จากการออกแบบได้ผลดังนี้

Y_1	=	0.75	ม.	S	=	0.64	ม.
B	=	1.00	ม.	H	=	1.00	ม.
W_1	=	0.615	ม.	W_2	=	1.26	ม.
L_1	=	0.80	ม.	L_2	=	3.485	ม.
L_3	=	2.00	ม.				

ความยาวของส่วนของอาคารทดน้ำ

$L_1 + L_2 + L_3$ = 6.29 ม.

3. น้ำตกเอียง


ฝาย
ร.1
ร.2
ร.3
ร.4
ร.5
ร.6
ร.7
ร.8
คลอง U/S
คลอง D/S
L_U
$L_1+L_2+L_3$
L_{TU}
2.5
L_1
L_H
L_{TD}
h_1
h_2
H
H_F
H_S
H_P
Z_A
y_c
y_B
y_{BB}
Ln
d_u
d_d
A
B

จากรูปตัดตามยาวของ INCLINED DROP

ร.5 = รนส.1 - Y_1

= 104.932 - 0.75 = +104.182 ม.(ร.ท.ก.)

สมมติระดับ ร.6 +102.78 ม.(ร.ท.ก.)

ความกว้างน้ำตกเอียงและ STILLING POOL

$$B_1 = \frac{18.4656\sqrt{Q}}{Q+9.912}$$

$$= \frac{18.4656\sqrt{0.47}}{0.47+9.912}$$

= 1.219 เลือกใช้ 1.30 ม.

หา CRITICAL FLOW ที่จุด A

$Q = Q/B_1$

= 0.47/1.30 = 0.362 ม.

$y_A = Y_C = \sqrt[3]{q^2/g}$

$= [(0.362)^2/9.81]^{1/3}$

= 0.24

กรณีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า $\frac{V^2_A}{2g} = \frac{V^2_C}{2g} = \frac{Y_C}{2}$ = 0.119 ม.

กรณี Q น้อยกว่า 2.80 $ม^3/s$ ใช้ FREE BOARD ของน้ำตกเอียง

F_b = 0.30 ม.

ความสูงของรางเท

$H_s = y_A + F_b$ = 0.24 + 0.30

= 0.54 ม. เลือกใช้ 0.60 ม.

คำนวณหาความลึกที่จุด B โดยใช้หลักการสมดุลของพลังงานระหว่างจุด A และจุด B

$$Z_A + y_A + \frac{V^2_A}{2g} = y_B + \frac{V^2_B}{2g} \quad \textbf{.....(1)}$$

Z_A = ร.5 - ร.6

= 104.182 - 102.78 = 1.402 ม.

V_B = Q/A

$= \quad 0.47/(B_1 \cdot y_B) \quad = \quad 0.47/(1.3\, y_B)$

แทนค่าลงในสมการ

$$1.402 + 0.24 + 0.12 = y_B + y_B + \left[\frac{0.47}{1.3 y_B}\right]^2 \times \frac{1}{2 \times 9.81}$$

$$1.762 = y_B + 0.0067/(y_B)^2$$

จากวิธี TRIALAND ERROR ได้

$y_B = 0.063$ ม.

ความลึกของ STILLING POOL จากพื้นคลองด้านท้าย

DROP = 103.05 - 102.78

= 0.27 ม.

ความลึกน้ำจากพื้น STILLING POOL ถึง รนส.2

$= \text{DROP} + d_d$

= 0.27 + 0.482

= 0.752 ม.

ค่าคำนวณหา CONJUGATE DEPTH ของ y_B

$$y_{BB} = \frac{y_B}{2}(\sqrt{1 + 8Fr_B^{\,2}} - 1) \quad \text{.....(2)}$$

$$V_B = \frac{0.47}{1.3(0.063)} = 5.739 \text{ ม./วินาที}$$

$$Fr_B = \frac{V}{\sqrt{g y_B}}$$

$$= \frac{5.739}{\sqrt{9.81 \times 0.063}}$$

= 7.3 > 1 เป็น SUPERCRITICAL FLOW

แทนค่าลงในสมการที่ (2)

$$y_{BB} = \frac{0.063}{2}(\sqrt{1 + 8(7.3)^2} - 1)$$

= 0.62 ม. น้อยกว่า 0.755 **OK.**

ความยาว STILLING POOL

$L_H = 4\, y_{BB} =$ 2.48 ม. เลือกใช้ 3.00 ม.

จากหนังสือ SMALL CANAL STRUCTURE หน้า 102 (ระบบอังกฤษ)

$$\frac{Q V_B y_B}{A} = \frac{(0.47 \times 3.28^3)(5.739 \times 3.28)(0.063 \times 3.28)}{(1.3 \times 0.063 \times 3.28^2)}$$

$$= 73.22$$

ได้ระยะ FREE BOARD , F = 1.56 ฟุต = 0.48 ม.

ความสูง STILLING BASIN

$$H_p = F + DROP + d_d$$

$$= 0.48 + 0.27 + 0.482$$

$$= 1.232 \quad \text{เลือกใช้} \quad 1.30 \quad \text{ม.}$$

ตรวจสอบ H_p ไม่ควรเกินระดับหลังคัน

$$H_p = DROP + H_{bd}$$

$$= 0.27 + 0.95 = 1.12 \quad \text{ม.}$$

ดังนั้นใช้ $H_p = 1.12$ ม.

4. TRANSITION

$$L_u = 3 d_u$$

$$= 3(0.482)$$

$$= 1.446 \quad \text{ม.} \quad \text{เลือกใช้} \quad 1.6 \quad \text{ม.}$$

$$L_{TU} = (\frac{B}{2} + 1.5y_1 - \frac{B_1}{2}) / \tan 27.5^o$$

$$= [\frac{1.0}{2} + 1.5(0.75) - \frac{1.3}{2}] / \tan 27.5°$$

$$= 1.87 \quad \text{เลือกใช้} \quad 2.0 \quad \text{ม.}$$

$$L_{TD} = [\frac{b_d}{2} + 1.5d_d - \frac{B_1}{2}] / \tan 22.5°$$

$$= [\frac{0.6}{2} + 1.5(0.482) - \frac{1.3}{2}] / \tan 22.5°$$

$$= 0.9 \quad \text{เลือกใช้} \quad 1.50 \quad \text{ม.}$$

5. <u>ระดับและความยาว</u>

ร.1 = INV.1 = +104.45 ม.(รทก.)

รนส.เหนือน้ำ = รนส.1 = +104.932 ม.(รทก.)

ร.2 = ร.1 + H_{cu}

= 104.45 + 0.65 = +105.100 ม.(รทก.)

ร.5 = +104.182 ม.(รทก.)

ตรวจสอบความลาดเทของ UPSTREAM TRANSITION (L_u)

SLOPE = (ร.1-ร.5) / L_u

= (104.45-104.182) / 1.6

= 1: 5.97 น้อยกว่า 1:4.0 **<u>OK.</u>**

ความยาวน้ำตกเอียง (SLOPE 1:2)

L_I = 2 (ร.5 – ร.6) = 2.804 ม.*

ความยาวอาคารทั้งหมด

L_L = L_u + L_1 + L_2 + L_3 + L_{TU} + 2.5 + L_I + L_H + L_{TD}

L_L = 1.6 + (6.29) + 2.0 + 2.5 + 2.804 + 3.0 + 1.50

= 19.694 เมตร

ร.3 = +103.05 ม.(รทก.)

ร.4 = ร.3 + H_{CD}

= 103.05 + 0.65 = +103.70 ม.(รทก.)

ร.6 = +102.78 ม.(รทก.)

ตรวจสอบความลาดเท DOWNSTREAM TRANSITION (L_{TD})

SLOPE = (ร.3 - ร.6) / L_{TD}

= (103.05 - 102.78) / 1.50

= 1: 5.56 น้อยกว่า 1:4.0 **<u>OK.</u>**

ร.7 = ร.6 + H_p

= 102.78 + 1.12 = +103.90 ม.(รทก.)

ร.8 = ร.1 + H_{bd}

= 104.45 + 0.95 = +105.40 ม.(รทก.)

H_F = ร.8 - ร.5

= 105.40 - 104.182

= 1.218 ม.

6. <u>WEIGHTED CREEP RATIO</u>

สมมติจากการจำแนกเนื้อดินเป็นประเภท COURSE SAND มี $C_w = 5.0$

Max. ΔH = ร.5 + S - ร.3

= 104.182 + 0.64 - 103.05

= 1.772 ม.

L_H = $(L_1 + L_2 + L_3 + L_{TU} + 2.50 + L_I + L_H + L_{TD})/3$

= (6.29 + 2.0 + 2.50 + 2.804 + 3.0 + 1.50)/3

= 6.03

CUTOFF h_1 = 0.60 ม. และ h_2 = 0.60 ม.

L_v = $h_1 + 7(h_1 - 0.15) + 3(h_2 - 0.15) + h_2$

= 5.70 ม.

C_w = $\frac{6.03 + 5.70}{1.772}$ = 6.62 > 5.0 **<u>OK.</u>**

กำแพงกันดิน

(Retaining Wall)

<u>เกณฑ์กำหนดขนาด</u>

1. **กำแพง** ส่วนยอดของกำแพงหนาอย่างน้อย 20 ซม.
2. **ความกว้างของฐาน** โดยประมาณจะมีค่าเท่ากับ 0.5 ถึง 0.6 เท่าของความสูงทั้งหมด สำหรับในกรณีไม่มี Surcharge และเท่ากับ 0.60 ถึง 0.65 เท่าของความสูงทั้งหมด สำหรับกรณีมี Surcharge และในกรณีที่ดินด้านหลังมีผิวเอียงจะใช้เท่ากับ 0.70 เท่าของความสูงทั้งหมด
3. **ความหนาของฐาน** โดยประมาณจะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{10}$ เท่าของความสูงทั้งหมด
4. **ความกว้างของ Toe** โดยประมาณจะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{4}$ และ $\frac{1}{3}$ เท่าของความกว้างฐาน

แรงดันดิน ตามกฎของ Rankine

1) ผิวดินด้านหน้าอยู่ในแนวระดับ

$$P = \gamma\frac{h^2}{2}\left(\frac{1-\text{Sin}\phi}{1+\text{Sin}\phi}\right)$$

2) ผิวดินด้านหลังเอียงทำมุม θ กับแนวราบ

$$P = \gamma\frac{h^2}{2}\cos\theta\left[\frac{\cos\theta-\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\phi}}{\cos\theta+\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\phi}}\right]$$

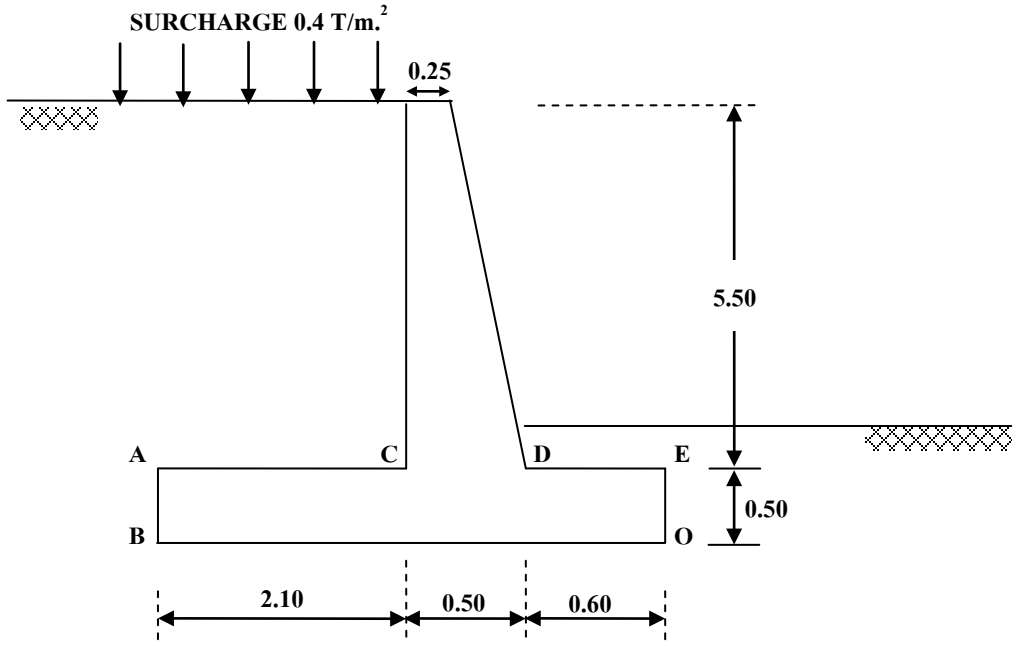
โดย ϕ = Internal friction angle ของดิน

θ = มุมลาดเอียงของผิวดินกับแนวราบ

<u>ขั้นตอนในการออกแบบ</u>

1. กำหนดขนาดของกำแพงและฐานและกำหนดความหนา
2. หาแรงต่างๆ ที่กระทำต่อกำแพงกันดิน และหาตำแหน่งของแรงรวมผ่านฐาน
3. ตรวจสอบความมั่นคงเนื่องจากการพลิกคว่ำ (Overturning)
4. ตรวจสอบความมั่นคงเนื่องจากการเลื่อนไถล (Sliding) ถ้าไม่พออาจจะใส่ Key wall เสริมความมั่นคง
5. ตรวจสอบตำแหน่งของแนวแรงรวมผ่านฐานซึ่งต้องได้ตามหลักการของ Middle third
6. หา Stress ตามแนวใต้ฐานและตรวจสอบความปลอดภัยในการรับน้ำหนักของดินใต้ฐาน
7. ตรวจสอบความหนาและคำนวณการเสริมเหล็กในกำแพง
8. ตรวจสอบความหนาและคำนวณการเสริมเหล็กใน Toe
9. ตรวจสอบความหนาและคำนวณการเสริมเหล็กใน Heel

<u>ตัวอย่าง</u> จงวิเคราะห์ความมั่นคงและออกแบบเหล็กเสริมของกำแพงกันดินในรูป ดินด้านหลังกำแพงเป็นดินถมอัดแน่น ไม่มีน้ำใต้ดิน พิจารณาแรงกระทำส่วนเกินบนผิวดิน (Surcharge Load) เท่ากับ 0.4 ตันต่อตารางเมตร



<u>ข้อกำหนดในการออกแบบ</u>

1. ดินถมอัดแน่น $\gamma = 1.9$ ตัน/ม^3
2. ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ $\gamma = 2.2$ ตัน/ม^3
3. มุมแรงเสียดทานภายในของดิน $\phi = 30$ องศา
4. Bearing Capacity ของดิน 20 ตัน/ม^3
5. Friction factor ใต้ฐาน 0.6
6. คอนกรีตเสริมเหล็ก $\gamma = 2.4$ ตัน/ม^3
7. เหล็กรับอุณหภูมิ 0.2 % ในทุกผิว
8. กำหนดให้ใช้ Covering 7 เซนติเมตร
9. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กให้ใช้ตามหลักการของ Working stress

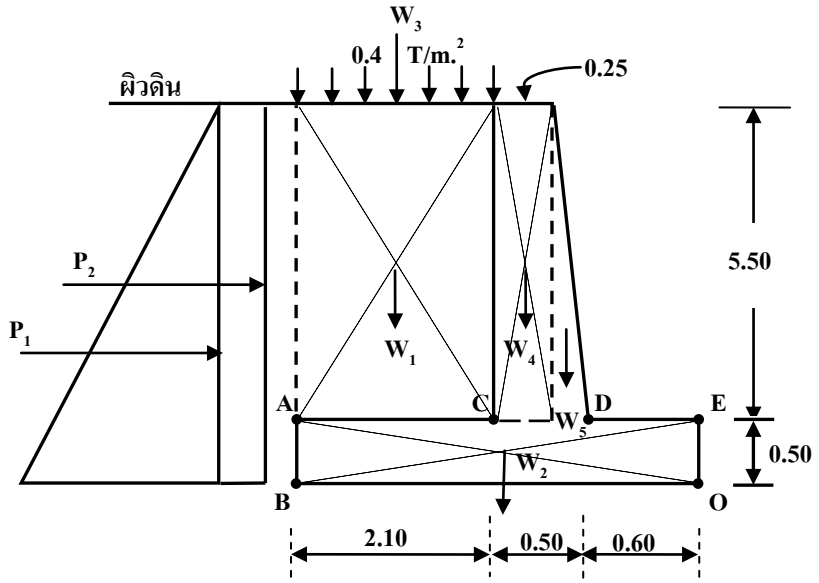
$M_s = A_s.f_s.j.d$ โดย $f_s = 1{,}500$ กก./ซม^2. และ $j = 0.885$

$$v_c = \frac{V}{b \cdot d}$$

$$u = \frac{V}{\Sigma o \cdot j \cdot d}$$

$M_c = R.b.d^2$ โดย โดย $R = 11.995$

<u>วิธีทำ</u> พิจารณาในกรณีมีดินด้านหลังเพียงฝั่งเดียวและกำแพงยาว 1.0 เมตร



ตารางที่ 1 การคำนวณแรงในแนวดิ่งและโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา รอบจุด O

ลำดับ	รายการ	คำนวณ	ขนาดน้ำหนัก (ตัน)	แขนโมเมนต์ (เมตร)	โมเมนต์ (ตัน-เมตร)
W_1	น้ำหนักแท่งดินบนฐาน	$1.90 \times 2.10 \times 5.50$	21.945	2.15	47.182
W_2	น้ำหนักฐานกำแพง	$(2.1 + 0.5 + 0.6) \times 2.4 \times 0.5$	3.84	3.2/2	6.144
W_3	น้ำหนักของ Surcharge Load ที่กดลงบนฐาน	$(2.1 \times 1.0) \times 0.4$	0.84	2.15	1.806
W_4	น้ำหนักของกำแพงส่วนที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า	$(0.25 \times 5.5 \times 1) \times 2.4$	3.30	0.975	3.218
W_5	น้ำหนักของกำแพงส่วนที่เป็นสามเหลี่ยม	$\frac{1}{2} \times (0.25 \times 5.5 \times 1.0) \times 2.4$	1.65	0.767	1.266
		รวม	**31.575**		**59.616**

$$Ka = \frac{1-\text{Sin } 30}{1+\text{Sin } 30} = \frac{1}{3}$$

$$P_1 = \frac{1}{2}\ Ka\ \gamma_{soil}\ H^2 = \text{แรงดันดิน}$$

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}\times 1.9 \times 6.0^2\right) = 11.40 \text{ ตัน}$$

$$P_2 = Ka \cdot Su \cdot H = \text{แรงดันดินเนื่องจาก Surcharge Load}$$

$$= \frac{1}{3}\times 0.4 \times 6.0 = 0.80 \text{ ตัน}$$

หาโมเมนต์ตามเข็มนาฬิการอบจุด O เนื่องจาก P_1 และ P_2

$$\sum M \text{ ทวน} = \left(11.40 \times \frac{6}{3}\right) + \left(0.8 \times \frac{6.0}{2}\right)$$

$$= 22.80 + 2.40 = 25.20 \text{ ตัน-เมตร}$$

แรงรวมในแนวราบ $\sum P$

$$\sum P = 11.40 + 0.80 = 12.20 \text{ ตัน}$$

จากตารางที่ 1 $\sum W$ = 31.575 ตัน = $\sum M$ ทวน = 59.616 ตัน-เมตร

ตรวจสอบความมั่นคงเนื่องจากการเลื่อนไถล

$$F.S \times \sum P \leq C.\sum W$$

หรือ

$$F.S = \frac{C.\sum W}{\sum P}$$

$$= \frac{0.6 \times (31.575)}{12.20} = 1.553 \text{ มากกว่า 1.5 ถือว่ามีความปลอดภัย}$$

ตรวจสอบความมั่นคงเนื่องจากการพลิกคว่ำ (Overturning)

$$F.S \times \sum M \text{ ตาม} \leq \sum M \text{ ทวน}$$

หรือ

$$F.S = \frac{\sum M \text{ทวน}}{\sum M \text{ตาม}}$$

$$= \frac{59.616}{25.20} = 2.366 \text{ มากกว่า 2.0 ถือว่ามีความปลอดภัย}$$

ตรวจสอบตำแหน่งแนวแรงรวมผ่านฐานตามหลักการของ Middle Third เพื่อไม่ต้องการให้เกิด Tensile Stress ใต้ฐาน

ตำแหน่งแนวแรงรวมจากจุด O

$$X = \frac{\left(\sum M \text{ทวน} - \sum M \text{ตาม}\right)}{\sum M}$$

$$= \frac{59.616 - 25.20}{31.575} = 1.09 \text{ เมตรจากจุด}$$

ระยะเยื้องศูนย์ (Eccentricity : e)

$$e = \frac{3.2}{2} - 1.09 = +0.51 \text{ เมตร}$$

$$\frac{1}{2}(\text{Middle Third}) = \frac{3.2}{6} = \pm 0.533 \text{ เมตร}$$

ฉะนั้น e ไม่เกิน 0.533 เมตร จึงไม่เกิด Tensile Stress ที่ฐาน

หา Stress ที่จุด B และจุด O

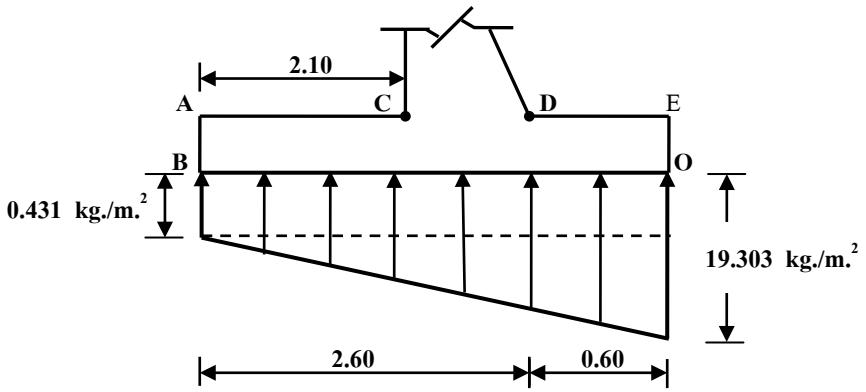
$$S = \frac{\sum W}{l} \pm \frac{6(\sum W) \cdot e}{l^2}$$ กรณีกำแพงยาว 1 เมตร

โดย 1 = ความกว้างใต้ฐานทั้งหมด

ค่าน้อยสุด $S_B = \frac{31.575}{3.2} - \frac{6(31.575)\ (0.51)}{(3.2)^2} =$ 0.431 ตัน/ม.^{2}

ค่ามากสุด $S_O = \frac{31.575}{3.2} + \frac{6(31.575)\ (0.51)}{(3.2)^2} =$ 19.303 ตัน/ม.^{2}

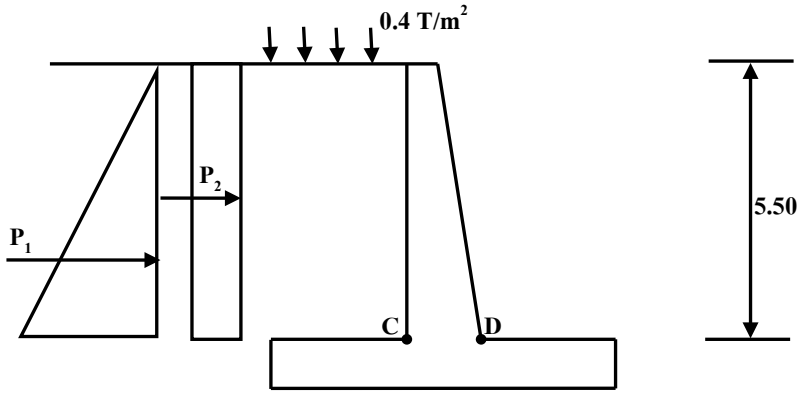
หา Stress ใต้ฐานที่จุด C และ D เพื่อใช้คำนวณการเสริมเหล็กที่ Heel และ Toe



$S_C = 0.431 + \frac{2.1}{3.2}(19.303 - 0.431) =$ 12.816 ตัน/ม.^{2}

$S_D = 0.431 + \frac{2.6}{3.2}(19.303 - 0.431) =$ 15.765 ตัน/ม.^{2}

<u>ออกแบบการเสริมเหล็กกำแพง</u>



$P_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3} \times 1.9 \times 5.5\right)(5.5) \times 1.0 =$ 9.579 ตัน

$P_2 = 5.50(0.4) \times \frac{1}{3} \times 1.0 =$ 0.733 ตัน

$V_{max} = \Sigma P =$ 10.312 ตัน

$M_{max} = 9.579 \times \frac{5.5}{3} + 0.733 \times \frac{5.5}{2} =$ 19.577 ตัน-เมตร

$d_m = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{19.577\times1000\times100}{11.995\times100}} = 40.40$ ซม.

$d_V = \frac{V_{max}}{v_c b} = \frac{10.312\times1000}{3.8\times100} = 27.14$ ซม.

เลือกใช้ d = 43 ซม. และ Covering = 7 ซม.

t = 50 ซม.

$A_S = \frac{M}{fs\cdot j\cdot d}$

ที่โคนกำแพง A_S max $= \frac{19.577\times1000\times100}{1500\times0.885\times43} = 34.30$ ซม.^{2}

<u>ลดเหล็กที่ความลึก 3.5 เมตร จากผิวดิน</u> (จากการคำนวณ t = 40.94 ซม.)

$\sum P = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}\times1.9\times3.5\right)(3.5)+3.5\times0.4\times\frac{1}{3} = V$

$= 3.879 + 0.467 = 4.346$ ตัน

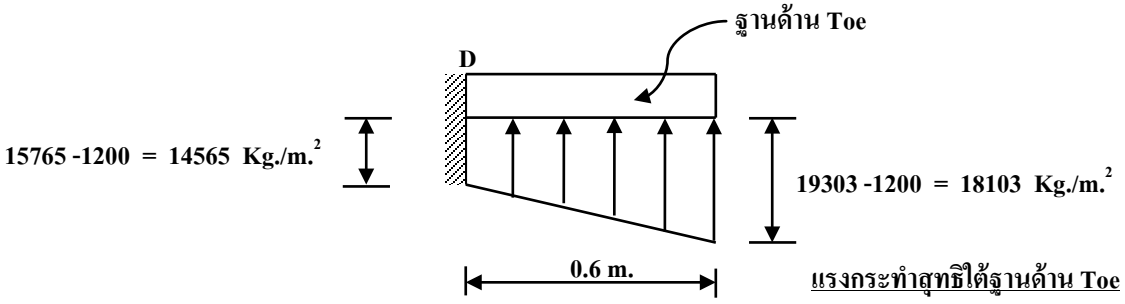
$M = 3.879\times\frac{3.5}{3}+0.467\left(\frac{3.5}{2}\right) = 5.343$ ตัน-เมตร

$A_S = \frac{5.343\times1000\times100}{1500\times0.885\times(40.91-7)} = 11.869$ ซม.^{2}

เนื่องจากที่ความลึก 3.50 เมตร กำแพงมีความหนาเท่ากับ 40.91 ซม. ฉะนั้นจึงใช้ความหนาเพียง 40 ซม. ในการคำนวณหาเหล็กอุณหภูมิ , A_{St}

$A_{St} = 0.002\times40\times100 = 8$ ซม.^{2}

<u>ออกแบบ TOE</u> ออกแบบการเสริมเหล็กในฐานด้าน Toe เป็น Cantilever Beam โดยมี Stress ใต้ฐานเป็นแรงกระทำดันขึ้น และน้ำหนักฐานเป็น Uniform load ดันลง และ นน.พื้น = 2400 × 0.5 = 1200 Kg./m.^{2}



M_{max} = $14.565 \times 0.6 \times \frac{0.6}{2} + \frac{1}{2}(18.103 - 14.565)\ (0.6)\left(\frac{2}{3} \times 0.6\right)$

= 2.622 + 0.425 = 3.047 ตัน-เมตร

คำนวณปริมาณพื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม ที่ผิวล่างของฐาน Toe ส่วนผิวบนเสริมเหล็กอุณหภูมิ

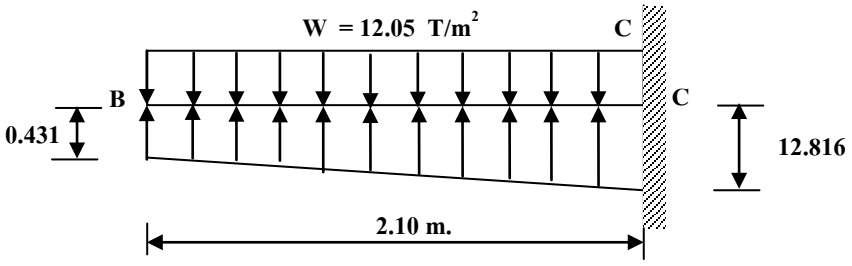
A_S = $\frac{3.047 \times 1000 \times 100}{1500 \times 0.885 \times (50 - 7)}$ = 5.337 ซม.^{2}

เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดเหล็กน้อยกว่าเหล็กอุณหภูมิ (A_{St} = 8.0 ตร.ซม.) ฉะนั้นจึงใช้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเท่ากับ A_{St} เสริมที่ผิวล่างของฐานด้าน Toe

<u>ออกแบบ Heel</u> พิจารณาฐานด้าน Heel เป็น Cantilever Beam

นน. ดินสูง 5.5 เมตร	=	10.45	T/m^2
นน. ฐานหนา 0.5 เมตร	=	1.2	T/m^2
นน. Surcharge Load	=	0.4	T/m^2

} รวมแรงกดลง = 12.05 T/m^2



ที่จุด C, Mc = $12.05 \times 2.1 \times \frac{2.1}{2} - 0.431 \times 2.1 \times \frac{2.1}{2} - \frac{1}{2}(12.816 - 0.431)\ (2.1)\left(\frac{2.1}{3}\right)$

= 25.62 – 9.10 = 16.52 ตัน-เมตร (เสริมเหล็กผิวบน)

d_m = $\sqrt{\frac{16.52 \times 1000 \times 100}{11.995 \times 100}}$ = 37.11 น้อยกว่า (50 - 7) <u>OK</u>

ฉะนั้น d = 50 -7 = 43 ซม.

A_S = $\frac{16.52 \times 1000 \times 100}{1500 \times 0.885 \times (43)}$ = 28.94 ซม.^{2}

A_{St} = 8 ซม.^{2} : เหล็กเสริมผิวล่างของฐานด้าน Heel

<u>เลือกเหล็ก</u>

กำแพง

- ผิวด้านติดดินจากขอบกำแพงถึงความลึก 3.50 เมตร

  เลือกใช้เหล็ก 20 @ 0.26 ได้ A_S = 12.08 ตร.ซม. และ $\sum o$ = 24.17 ซม.

- ผิวด้านติดดินจากความลึก 3.50 เมตร ถึงโคนกำแพง

เลือกใช้เหล็ก 20 @ 0.26ได้ A_S = 12.08 ตร.ซม. และ $\sum o$ = 24.17 ซม.

และ 28 @ 0.26ได้ A_S = 23.68 ตร.ซม. และ $\sum o$ = 33.86 ซม.

รวม A_S = 35.76 ตร.ซม. และ$\sum o$ = 58.00 ซม.

A_S มากกว่า 34.30 ตร.ซม. ถือว่าใช้ได้

ตรวจสอบ Bonding Stress

$$u = \frac{V}{\sum o \cdot j \cdot d}$$

$$= \frac{10.312 \times 1000}{58.00 \times 0.885 \times 43} = 4.67 \text{ กก./ซม.}^2$$

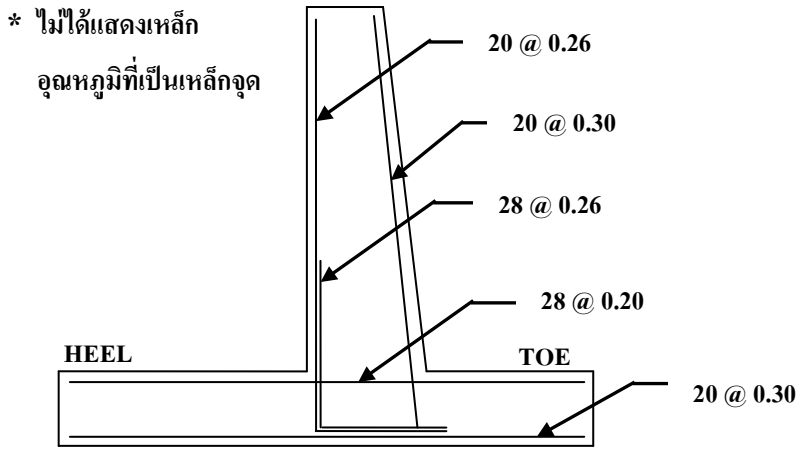
น้อยกว่า 15.3 กก./ซม.^{2} แสดงว่า $\sum o$ มีความยาวเพียงพอ

<u>ฐานด้าน Toe</u>

- ผิวล่างเลือกใช้เหล็ก 20 @ 0.30 ได้ A_S = 10.47 ตร.ซม. และ $\sum o$ = 20.94 ซม.

<u>ฐานด้าน Heel</u>

- ผิวบนเลือกใช้เหล็ก 28 @ 0.20 ได้ A_S = 30.79 ตร.ซม. และ $\sum o$ = 43.98 ซม.
- ผิวล่างเลือกใช้เหล็ก 20 @ 0.30 ได้ A_S = 10.47 ตร.ซม. และ $\sum o$ = 20.94 ซม.



กำแพงกันดินแบบเคาเตอร์ฟอร์ท

(Counterfort Retaining Wall)

กรณีที่กำแพงสูงเกิน 6 เมตร กำแพงกันดินแบบคานยื่น (Cantilever) จะมีความหนามาก ซึ่งเป็นการไม่ประหยัด จึงได้มีการสร้างครีบเคาเตอร์ฟอร์ทเป็นช่วงๆ ด้านหลังของกำแพง ฉะนั้นตัวกำแพงจะทำหน้าที่เป็นแผ่นพื้นแนวดิ่ง (Slab) ของคานแบบต่อเนื่องที่มีครีบเคาเตอร์ฟอร์ทเป็นจุดรองรับ และมีแรงกระทำจากแรงดันดินแนวราบ นอกจากนี้ครีบเคาเตอร์ ฟอร์ทยังทำหน้าที่ยึดตัวกำแพงและฐานเข้าไว้ด้วยกัน หลักเกณฑ์เบื้องต้นในการออกแบบส่วนต่างๆ ของกำแพงมีดังต่อไปนี้

1. ตัวกำแพง (The Stem)

ออกแบบเป็นแผ่นพื้นแนวดิ่งแบบคานต่อเนื่อง โดยมีช่วงกว้างเท่ากับระยะครีบเคาเตอร์ฟอร์ท สำหรับคานช่วงปลายใช้โมเมนต์เท่ากับ $\pm\frac{wl^2}{10}$ และสำหรับคานช่วงในใช้โมเมนต์ดัดเท่ากับ $\pm\frac{wl^2}{12}$ แรงที่กระทำต่อแผ่นพื้นคือแรงดันดินในหน่วยของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยความสูงของกำแพงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความลึกจากผิวดิน ฉะนั้นค่าโมเมนต์ดัดในตัวกำแพงจะต้องมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ค่าโมเมนต์สูงสุดจะเกิดขึ้นตรงรอยต่อระหว่างพื้นและกำแพง

2. แผ่นฐาน (The base slab)

ออกแบบ Heel เป็นแผ่นพื้นแนวนอนที่มีครีบเคาเตอร์ฟอร์ทเป็นตัวรองรับและมีน้ำหนักดินเป็นแรงกระทำ ส่วน Toe ออกแบบให้รับแรงดันขึ้นของดินใต้ฐาน ซึ่งขั้นตอนการออกแบบเหมือนกับของกำแพงกันดินแบบคานยื่น ความกว้างฐานทั้งหมดควรอยู่ในช่วงประมาณ $\frac{2}{5}$H ถึง $\frac{2}{3}$H

3. ครีบเคาเตอร์ฟอร์ท (Counterfort)

แรงดันดินที่กระทำต่อตัวกำแพงจะถ่ายไปสู่ครีบเคาเตอร์ฟอร์ท แรงกระทำทั้งหมดที่ครีบแต่ละตัวรับจะมีค่าทั้งหมดเท่ากับแรงดันดินต่อหนึ่งหน่วยความสูงคูณด้วยระยะระหว่างครีบเคาเตอร์ฟอร์ท

ด้วยเหตุนี้ตามขอบเอียงของครีบจะรับแรงดึง ให้ออกแบบครีบเคาเตอร์ฟอร์ทเป็นคานยื่น (Cantilever) ที่มีความลึกไม่สม่ำเสมอและมีปลายยึดติดกับพื้นฐาน ความลึกประสิทธิผล (d) วัดในแนวตั้งฉากกับขอบเอียงของครีบ ระยะระหว่างครีบเคาเตอร์ฟอร์ทไม่ควรจะน้อยกว่า 2.1 เมตร โดยปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง $\frac{1}{3}$H ถึง $\frac{2}{3}$H

<u>ตัวอย่าง</u> ออกแบบกำแพงกันดินแบบเคาเตอร์ฟอร์ทดังแสดงในรูป 1 และมีข้อมูลที่กำหนดให้ดังนี้

1) น้ำหนักดิน 1760 กก./ม.^{3}
2) มุมของแรงเสียดทานของดิน $\phi = 30$
3) ความสามารถรับน้ำหนักของดินที่ความลึก 1.20 ม. มีค่าเท่ากับ 18.0 ตัน/ม.^{2}
4) $f_c = 79$ กก/ซม.^{2}, $f_s = 1400$ กก/ซม.^{2} และ $n = 12$
5) $v = 5.2$ กก/ซม.^{2}, และ $u = 13.0$ กก/ซม.^{2}
6) สัมประสิทธิ์ของความขรุขระระหว่างคอนกรีตและดิน $f = 0.5$
7) น้ำหนักคอนกรีต 2400 กก/ม.^{3}

<u>วิธีทำ</u> ทำการสมมติขนาดต่างๆ ต่อไปนี้

ความกว้างของฐาน	:	0.67×7.30	=	4.9	ม.
ความหนาของฐาน			=	45	ซม.
ความหนาของครีบเคาเตอร์ฟอร์ท			=	45	ซม.
ระยะของครีบเคาเตอร์ฟอร์ท			=	3.0	ม.

ตรวจสอบความมั่นคงของกำแพง

ก. การพลิกคว่ำ (Overturning) : พิจารณากำแพงยาว 1 เมตร ที่อยู่ระหว่างครีบเคาเตอร์ฟอร์ท

ระยะ C.G. ของแรงแนวดิ่งจาก CD

$$= \frac{155712}{57215} = 2.72 \text{ ม.}$$

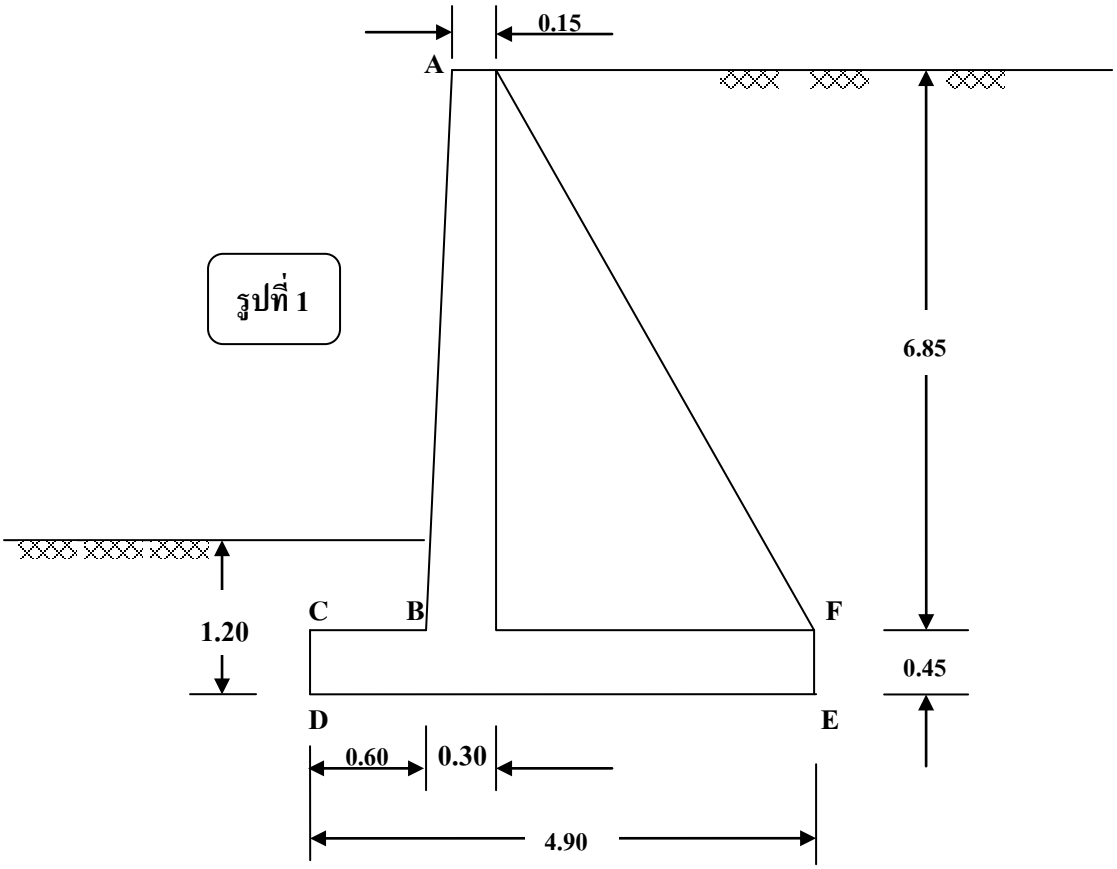
แรงดันดินแนวราบ $= \frac{1}{2}\gamma H^2 \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$

$$= \frac{1}{2} \times 1760 \times 7.3^2 \times \frac{1}{3} = 15630 \text{ กก.}$$

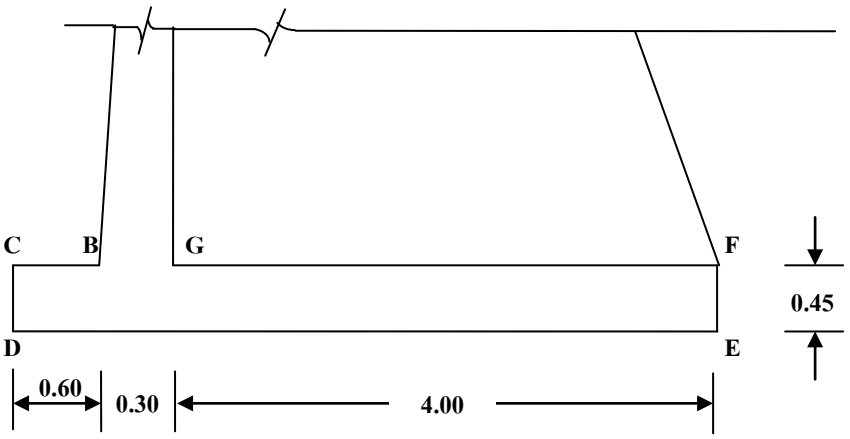
โดยกระทำอยู่ที่ระดับ $\frac{7.3}{3}$ ม. เหนือพื้นล่างของฐาน

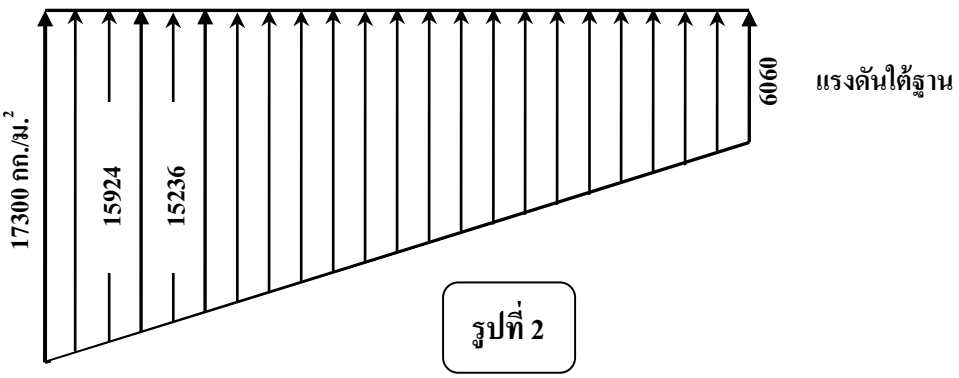
M ทวน	=	$15630 \times \frac{7.3}{3}$	=	38033 กก.–ม.
M ตาม	=	155712		กก.–ม.

สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย $= \frac{155712}{38033} = 4.09 > 1.5$ ปลอดภัย


0.15
A
6.85
1.20
C
B
F
0.45
D
E
0.60
0.30
4.90

รูปที่ 1


C
B
G
F
0.45
D
E
0.60
0.30
4.00


17300 กก./ม.2
15924
15236
6060
แรงดันใต้ฐาน

รูปที่ 2

ตารางที่ 1 การคำนวณแรงแนวดิ่งและโมเมนต์ตามเข็มนาฬิการอบจุด D

ลำดับ	รายการ	น้ำหนัก (กก.)	แขนโมเมนต์ (ม.)	โมเมนต์รอบจุด D (กก.–ม.)
1	กำแพงส่วนที่เป็นสามเหลี่ยม	1233	0.70	863
2	กำแพงส่วนที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า	2466	0.825	2034
3	ฐาน	5292	2.45	12965
4	ดินถมด้านหลัง	48224	2.90	139850
	รวม	57215		155712

ข. การเลื่อนไถล (Sliding)

แรงแนวราบ $\sum P$ = 15630 กก.

แรงเสียดทาน = 0.5×57215 = 28608 กก.

สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย = $\frac{28608}{15630}$ = $1.83 > 1.5$ ปลอดภัย

ค. การรับน้ำหนักของดิน

ระยะเยื้องศูนย์ $e = \frac{4.9}{2} - \frac{\sum M}{\sum W}$

$= 2.45 - \frac{(155712-38033)}{57215}$

$= 0.393 < \frac{4.9}{6}$

$S = \frac{\sum W}{A} \pm \frac{6(\sum W)e}{bl^2}$

$= \frac{57215}{1\times4.9} \pm \frac{6\times57215}{1\times(4.9)^2} \times 0.393$

$= 11676.5 \pm 5619$

ที่ D Smax = $17295.5 \approx 17300$ กก./ม.^{2} < 18.0 ปลอดภัย

ที่ E Smin = $6057.5 \approx 6060$ กก./ม.^{2}

ออกแบบกำแพง

กำแพงทำหน้าที่เป็นแผ่นพื้นแนวดิ่งแบบคานต่อเนื่อง ค่าโมเมนต์สูงสุดสำหรับแผ่นพื้นช่วงในเท่ากับ $\pm \frac{wl^2}{12}$

$w = \gamma h \frac{1-\sin 30^o}{1+\sin 30^o}$

ที่ G w = $1760 \times 6.85 \times \frac{1}{3}$ = 4020 กก./ม.^{2}

คิดต่อความกว้าง 1 เมตร w = 4020 กก./ม.

max. M = $\frac{4020 \times (3)^2}{12}$ = 3015 กก.–ม.

d = $\sqrt{\frac{M}{Rb}}$

= $\sqrt{\frac{3015 \times 100}{13.7 \times 100}}$ = 14.83 ซม.

ใช้ d = 25 ซม. และ Covering = 5 ซม.

As = $\frac{3015 \times 100}{0.87 \times 1400 \times 25}$ = 9.90 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็ก ϕ 12 mm. @ 0.11 ได้ As = 10.28 ซม.^{2} และ $\sum 0$ = 34.27 ซม.

ใช้เหล็กรับอุณหภูมิ 0.15 % ของพื้นที่หน้าตัด

Ast = $0.0015 \times 30 \times 100$ = 4.5 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็ก ϕ 12 mm. @ 0.24 ได้ As = 4.71 ซม.^{2}

ทดสอบแรงเฉือน

max. V = $4020 \times \frac{3-0.45}{2}$ = 5125 กก.

v = $\frac{5125}{0.87 \times 100 \times 25}$ = 2.36 กก./ซม.^{2}

น้อยกว่า 5.2 กก./ซม.^{2}

ตรวจสอบแรงยึด

u = $\frac{5125}{0.87 \times 34.27 \times 25}$ = 6.88 กก./ซม.^{2}

น้อยกว่า 13.0 กก./ซม.^{2}

เนื่องจากแรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงจะเพิ่มขึ้นตามความลึก ฉะนั้นสามารถลดพื้นที่เหล็กเสริมได้ ในกรณีนี้จะทำการแบ่งความสูง 6.85 ม. ออกเป็น 3 ส่วน

1) ความลึกจาก 0 ถึง 2.00 ม.
2) ความลึกจาก 2.00 ถึง 4.00 ม.
3) ความลึกจาก 4.00 ถึง 6.85 ม.

ที่ระดับ –4.00 ม. จากขอบกำแพง

w = $1760 \times 4 \times \frac{1}{3}$ = 2347 กก./ม.

max. M = $\frac{1}{12} \times 2347 \times (3)^2$ = 1760 กก.–ม.

$$d = 15+\frac{15}{6.85}\times 4-5 = 18.8 \text{ ซม.}$$

$$As = \frac{1760\times 100}{0.87\times 1400\times 18.8} = 7.68 \text{ ซม.}^2$$

เลือกเหล็ก ϕ 12 mm. @ 0.14 ได้ As = 8.08 ซม.^{2} และ $\Sigma 0$ = 26.93 ซม.

ที่ระดับ –2.00 ม. จากขอบกำแพง

$$w = 1760\times 2\times \frac{1}{3} = 1175 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{max. } M = \frac{1}{12}\times 1175\times (3)^2 = 882 \text{ กก.–ม.}$$

$$d = 15+\frac{15}{6.85}\times 2-5 = 14.4 \text{ ซม.}$$

$$As = \frac{882\times 100}{0.87\times 1400\times 14.4} = 5.1 \text{ ซม.}$$

เลือกเหล็ก ϕ 10 mm. @ 0.15 ได้ As = 5.24 ซม.^{2} และ $\sum 0$ = 20.94 ซม.

ออกแบบ Toe

ทำการคำนวณหาแรงดันสุทธิที่กระทำต่อฐาน และไม่คิดน้ำหนักดินกดทับบน Toe

แรงดันสุทธิที่ $D = 17300-0.45\times 2400$

$$= 17300-1080 = 16220 \text{ กก./ม.}^2$$

แรงดันสุทธิที่ $B = 15924-1080 = 14844 \text{ กก./ม.}^2$

โมเมนต์สูงสุดผ่านจุด $B = 14844\times 0.6\times \frac{0.6}{2}+\frac{1}{2}(16220-14844)\times 0.6\times 0.6\times \frac{2}{3}$

$$= 2671.9+165.2 = 2837 \text{ กก.–ม.}$$

$$d = \sqrt{\frac{2837\times 100}{100\times 13.7}} = 14.39 \text{ ซม.}$$

ใช้ d = 38 ซม. และ Covering = 7 ซม.

$$\text{max. } V = \frac{1}{2}(16220+14844)\times 0.6 = 9319 \text{ กก.}$$

$$v = \frac{9319}{0.87\times 100\times 38} = 2.82 < 5.2 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$As = \frac{2837\times 100}{1400\times 0.87\times 38} = 6.13 \text{ ซม.}^2$$

$$Ast = 0.0015\times 40\times 100 = 6.00 \text{ ซม.}^2$$

(คิดเหล็กรับอุณหภูมิในช่วงความลึกไม่เกิน 40 ซม.)

เลือกใช้เหล็กหลักและเหล็กรับอุณหภูมิขนาด ϕ 12 mm. @ 0.18 จะได้ As = 6.28 ซม.^{2}

และ $\sum 0$ = 20.94 ซม.

$$u = \frac{9319}{0.87\times 20.94\times 38} = 13.46 \approx 13.0 \text{ กก./ซม.}^2$$

ออกแบบ Heel

แรงกดสุทธิที่ E = $1\times6.85\times1760+1\times0.45\times2400-6060$

= 12056+1080–6060 = 7076 กก./ม.

Heel ทำหน้าที่เป็นแผ่นพื้นแบบต่อเนื่องโดยมีครีบเคาเตอร์ฟอร์ทเป็นตัวรองรับ

max. M = $\pm\frac{wl^2}{12}$

= $7076\times\frac{(3)^2}{12}$ = 5307 กก.–ม.

d = $\sqrt{\frac{5307\times100}{13.7\times100}}$ = 19.68 ซม.

ใช้ d = 38 ซม. และ Covering = 7 ซม.

As = $\frac{5307\times100}{0.87\times1400\times38}$ = 11.5 ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็กขนาด ϕ 16 mm. @ 0.16 จะได้ As = 12.56 ซม.^{2} และ $\sum0$ = 31.42 ซม.

max. V = $7076\times\frac{(3-0.45)}{2}$ = 9022 กก.

v = $\frac{9022}{0.87\times38\times100}$ = $2.73 < 5.2$ กก./ซม.^{2}

u = $\frac{9022}{0.87\times31.42\times38}$ = $8.69 < 13$ กก./ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็กรับอุณหภูมิขนาด ϕ 12 mm. @ 0.18

ออกแบบครีบเคาเตอร์ฟอร์ท

ทำหน้าที่เป็นคานรูปตัว T โดยมีกำแพงเป็นแผ่นพื้น และครีบเคาเตอร์ฟอร์ทเป็นคานรองรับ แรงกระทำมีค่าเท่ากับแรงดันดินทั้งหมดที่กระทำตลอดระยะระหว่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของครีบเคาเตอร์ฟอร์ท

แรงดันดินแนวราบ P = $\frac{1}{2}\times\gamma\,H^2\,\frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi}\times1$

= $\frac{1}{2}\times1760\times6.85^2\times\frac{1}{3}\times3$ = 41292 กก.

แรงรวม P กระทำที่ $\frac{6.85}{3}$ ม. จากฐาน

max. M = $41292\times\frac{6.85}{3}$ = 94238 กก.–ม.

ความลึกจริงของครีบเคาเตอร์ฟอร์ท = 400 ซม.

ความลึกประสิทธิผล d = T–Covering

d = $400\cos\theta$ –Covering

แต่ $\tan\theta$ = $\frac{4.0}{6.85}$ = 0.583

θ = 30.282 องศา

$$d = 400\cos\theta - 10$$

$$d = 345.42 - 10 = 335.42 \text{ ซม.}$$

$$As = \frac{94283\times100}{0.87\times1400\times335} = 23.11 \text{ ซม.}^2$$

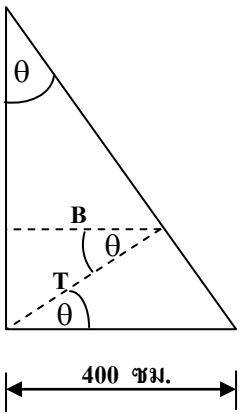
เลือกใช้เหล็ก 8–ϕ 20 mm. ได้ As = 25.13 ซม.^{2} และ $\sum$0 = 50.27 ซม

ตรวจสอบแรงเฉือน

แรงเฉือนทั้งหมด $= P - \frac{M}{d}\sin\theta$

$$= 41292 - \frac{94283\times100}{335} \times 0.504$$

$$= 41292 - 14192 = 27100 \text{ กก.}$$



ครีบเคาเตอร์ฟอร์ท

ความลึกประสิทธิผลเพื่อตรวจสอบแรงเฉือน

d_1 = B–covering = $d\cos\theta$

$d_1 = 335\cos\theta$

$= 289$ ซม.

$$v = \frac{27100}{0.87\times289\times45} = 2.40 \text{ กก./ซม.}^2$$

น้อยกว่า 5.2 กก./ซม.^{2}

การลดเหล็ก

เนื่องจากแรงดันดินจะลดลงตามความสูงที่วัดจากฐาน ฉะนั้นควรมีการลดเหล็กของเคาเตอร์ฟอร์ท โดยอาศัยหลักเกณฑ์โดยประมาณดังนี้

$$\frac{n_1}{n} = \frac{h_1^2}{h^2}$$

เมื่อ n และ n_1 เป็นจำนวนเหล็กเสริมที่ความลึก h และ h_1 ตามลำดับหาตำแหน่งความลึกเมื่อต้องการลดเหล็กเหลือ 6 เส้น

$$\frac{6}{8} = \frac{h_1^2}{(6.85)^2}$$

$h_1 = 5.93$ ใช้ 5.6 ม.

หาตำแหน่งความลึกเมื่อต้องการลดเหล็กเหลือ 4 เส้น

$$\frac{4}{8} = \frac{h_1^2}{(6.85)^2}$$

$h_1 = 4.84$ ใช้ 4.5 ม.

สรุป ที่ระดับความลึก 0 ถึง 4.5 ม. ใช้เหล็ก 4–ϕ 20 mm.

ที่ระดับความลึก 4.5 ถึง 6.85 ม. ใช้เหล็ก 8–ϕ 20 mm.

ออกแบบเหล็กปลอกแนวนอนยึดครีบเคาเตอร์ฟอร์ทกับกำแพง

แรงแนวราบที่ความลึก h จากยอดกำแพง พยายามจะดันให้กำแพงแยกออกจากครีบเคาเตอร์ฟอร์ท โดยแรงดังกล่าวกระทำตลอดความยาว (3–0.45) ม. ซึ่งเป็นระยะระหว่างครีบ

$$P_1 = \gamma h \frac{(1-\sin\phi)}{(1+\sin\phi)} \times (3-0.45)$$

พิจารณาแผ่นกำแพงตั้งสูง 1.0 เมตรจากฐาน ฉะนั้นแรง (P_1) ที่จะทำให้กำแพงตั้งแยกออกจากครีบเคาเตอร์ฟอร์ท

$$P_1 = 1760 \times 6.85 \times \frac{1}{3} \times (3-0.45)$$

$$= 10248 \text{ กก.}$$

ปริมาณเหล็กยึด $As = \frac{10248}{1400} = 7.32$ ซม.^{2}

เลือกใช้เหล็ก ϕ 12 mm. และคิดทั้ง 2 ขา ฉะนั้น $As = 2 \times 1.13$ ซม.^{2}

ระยะระหว่างเหล็กปลอก $= \frac{100 \times 2 \times 1.13}{7.32} = 30$ ซม.

เหล็กปลอกแนวนอนขนาด ϕ 12 mm. @ 0.18 จะได้ $As = 6.28$ ซม.^{2}

(เหล็กเสริมแต่ละผิวต้องไม่น้อยกว่าเหล็กรับอุณหภูมิ)

ออกแบบเหล็กปลอกแนวตั้งยึดครีบเคาเตอร์ฟอร์ทกับพื้นฐาน

แรงแนวดิ่ง (ดันลง) สุทธิพยายามจะดันให้ฐานแยกตัวออกจากครีบเคาเตอร์ฟอร์ท โดยแรงดังกล่าวกระทำตลอดความยาว (3–0.45) เมตร และพิจารณาแผ่นพื้นฐานกว้าง 1.0 เมตร จากขอบ EF

$$P_1 = 7076 \times (3-0.45)$$

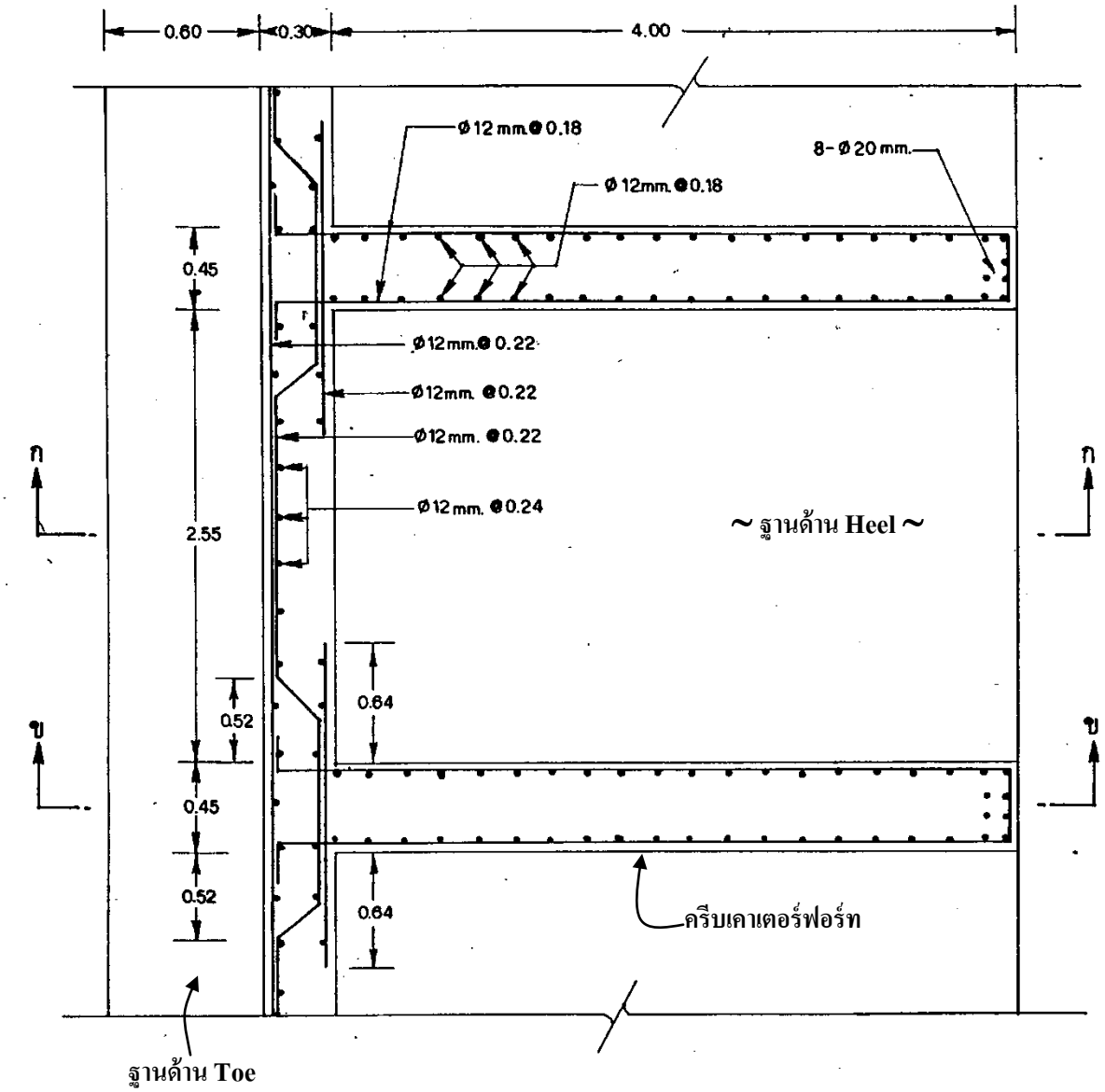
$$= 18044 \text{ กก.}$$

ปริมาณเหล็กยึด $As = \frac{18044}{1400} = 12.89$ ซม.^{2}

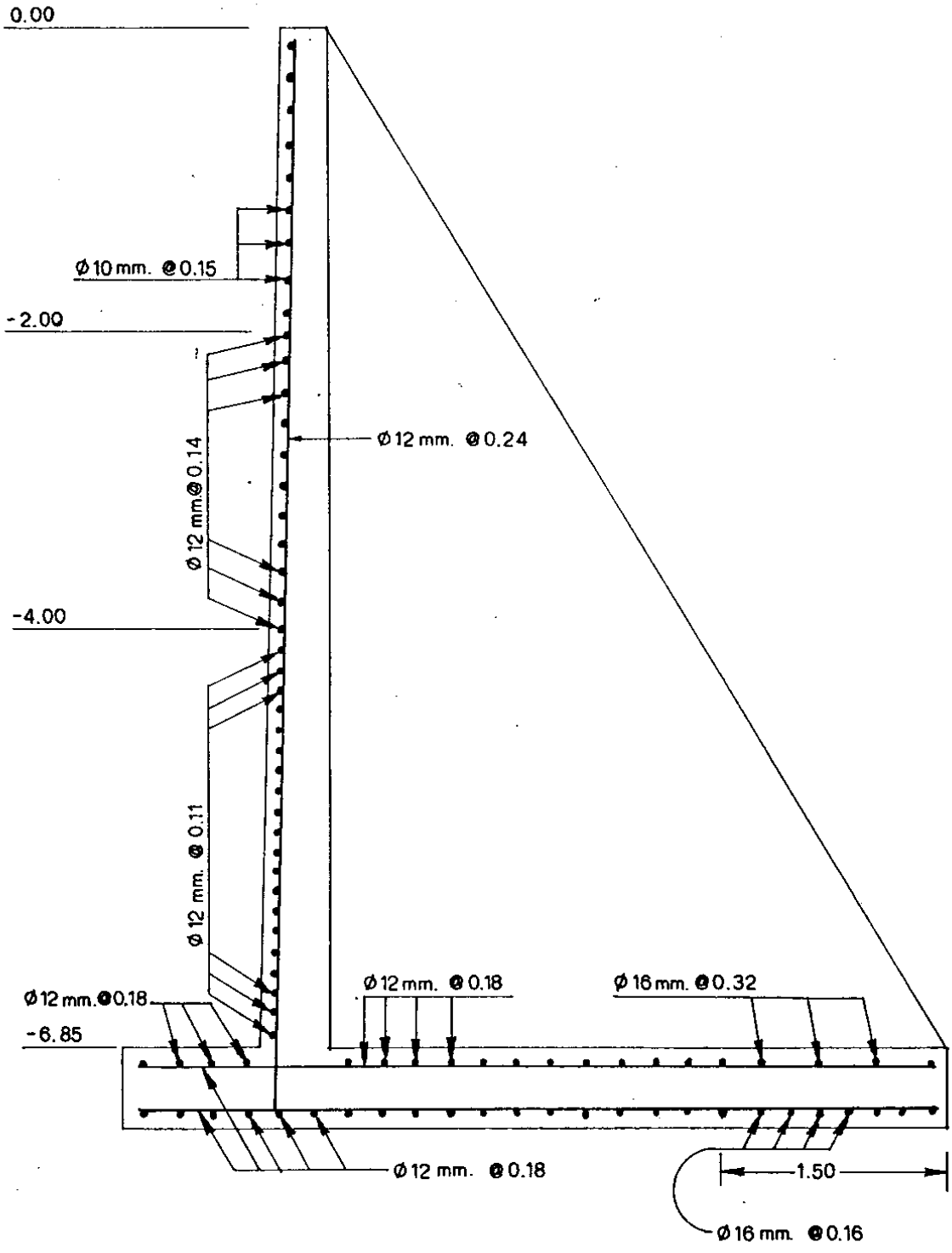
เลือกใช้เหล็ก ϕ 12 mm. และคิดทั้ง 2 ขา ฉะนั้น $As = 2 \times 1.13$ ซม.^{2}

ระยะระหว่างเหล็กปลอก $= \frac{100 \times 2 \times 1.13}{12.89} = 17$ ซม.

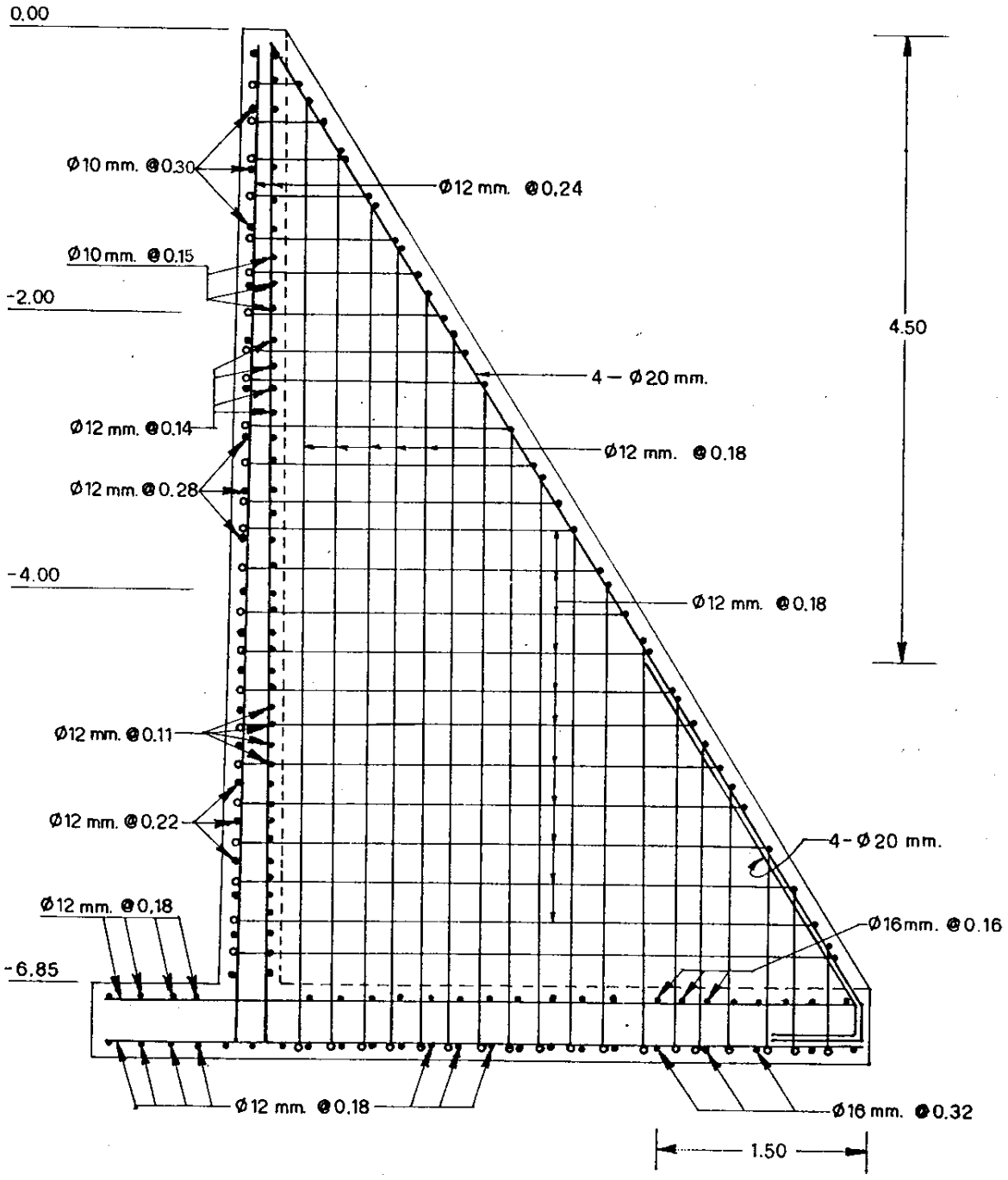
เหล็กปลอกแนวตั้งขนาด ϕ 12 mm. @ 0.18



รูปที่ 3 รูปตัดที่โคนกำแพง



รูปที่ 4 รูปตัดที่โคนกำแพง (รูปตัด ก-ก)



รูปที่ 5 รูปตัดที่โคนกำแพง (รูปตัด ข-ข)

การออกแบบและใช้แบบมาตรฐานท่อส่งน้ำเข้านา

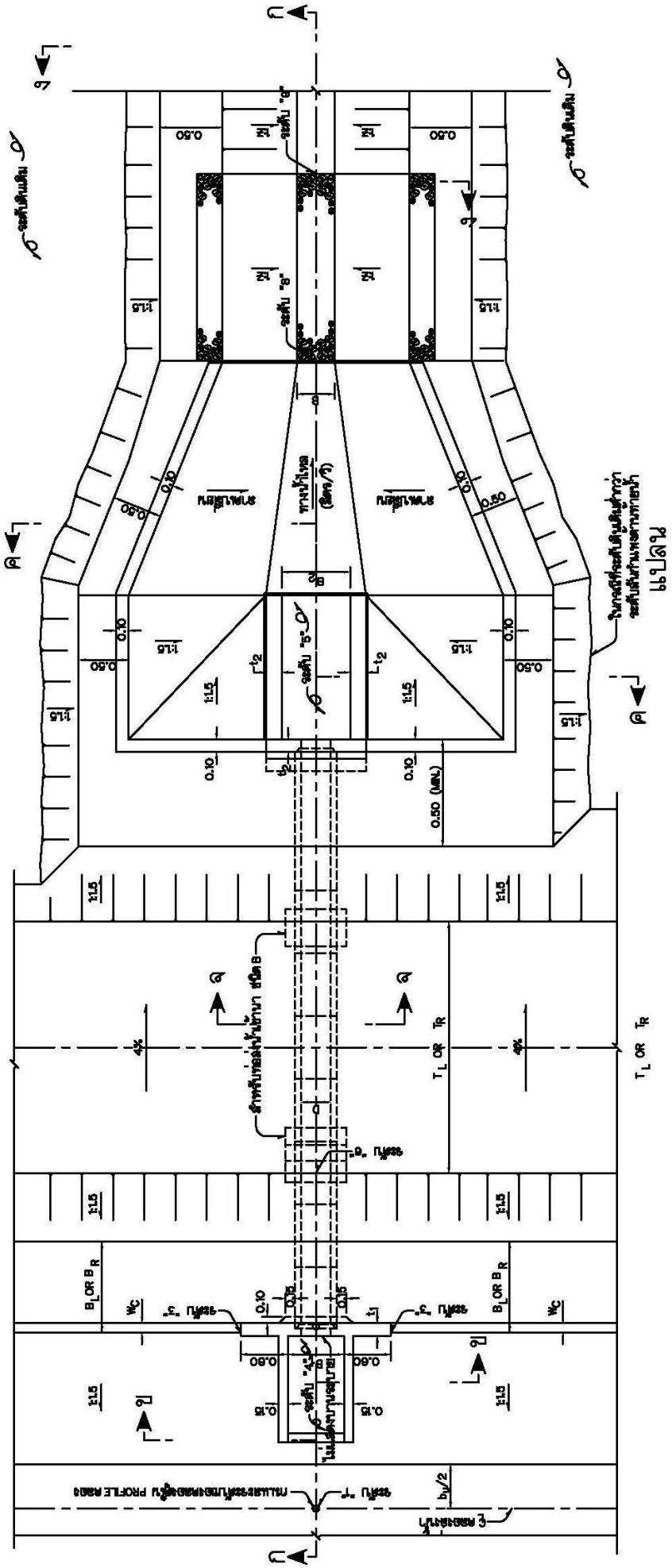
1. <u>การออกแบบท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อตรง (TYPE A)</u>

ข้อมูลที่ต้องการ

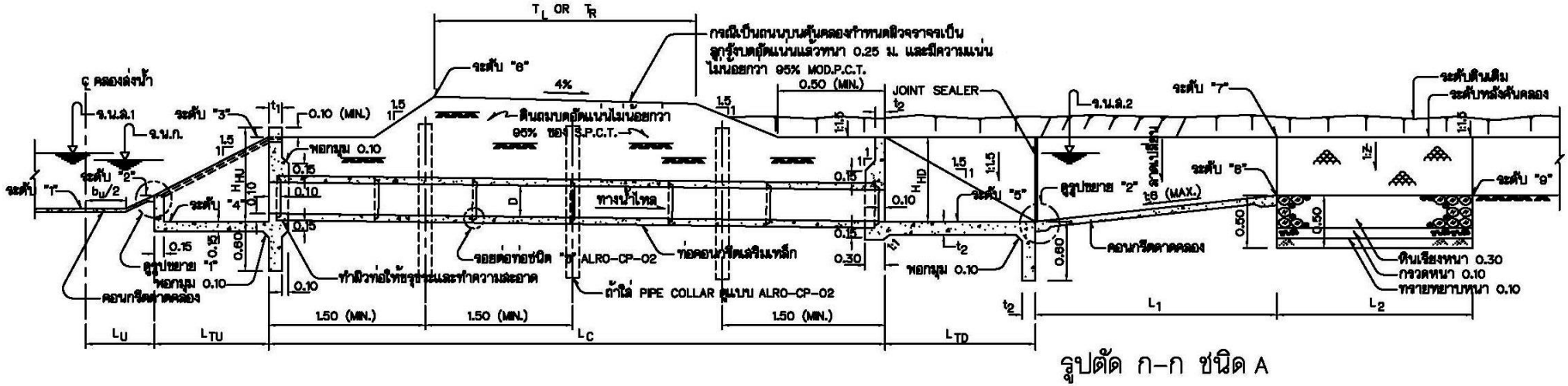
- อัตราการไหลในคูส่งน้ำ Q
- ระดับน้ำสูงสุดในคลองส่งน้ำ ร.น.ส. 1
- ระดับน้ำเก็บกักในคลองส่งน้ำ ร.น.ก.
- ระดับก้นคลอง ระดับ “1”
- ระดับชานคลอง ระดับ “3”
- ระดับหลังคันคลอง ระดับ “6”
- ระดับดินธรรมชาติ ระดับดินเดิม
- ความกว้างก้นคลอง b_U
- ความลึกของน้ำในคลอง d_U
- ความสูงของขอบคอนกรีต H_{CU}
- ความสูงของคันคอลง H_U
- ความกว้างของชานคลองฝั่งซ้ายหรือขวา B_L หรือ B_R
- ความกว้างของหลังคันคลองฝั่งซ้ายหรือขวา T_L หรือ T_R

เงื่อนไขการเลือกใช้ท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อตรง เหมือนกับของท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำแบบท่อตรง และขั้นตอนการออกแบบโดยใช้แบบมาตรฐานมีดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์หาปริมาณการไหลที่ต้องส่งให้พื้นที่แฉกส่งน้ำ, Q
2. กำหนดใช้ขนาดท่อ, D โดยพิจารณาจากตารางในแบบมาตรฐาน
3. หาความเร็วน้ำในท่อ, $V_P = Q/A$ ซึ่งไม่เกิน 1.50 เมตร/วินาที
4. หาเฮดความเร็วของน้ำในท่อ, $\frac{V_P^2}{2g}$ หรือ H_{VP}



รูปที่. 1 ท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อตรง (แปลน)



รูปตัด ก–ก ชนิด A

รูปที่ 2 ท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อตรง (รูปตัด ก-ก)

5. หา Friction Slope ในท่อ, S_f

$$S_f = \frac{n^2 V_P^2}{R^{4/3}}$$

$$= \frac{n^2 V_P^2}{0.1575\ D^{4/3}} \quad \text{กรณีท่อกลม}$$

6. กำหนดใช้ B_1, B_2, t_1 และ t_2 จากตาราง

Q(ลิตร/วินาที)	106	188	294	424
D (ม.)	0.30	0.40	0.50	0.60
B_1 (ม.)	0.75	0.75	0.80	0.90
B_2 (ม.)	0.50	0.60	0.70	0.80
t_1 (ม.)	0.15	0.15	0.20	0.20
t_2 (ม.)	0.10	0.10	0.15	0.15

7. หา H_A เพื่อใช้กำหนดระดับ “2” (ระดับสันปากทาง Inlet) โดยกำหนดให้ Cutoff ด้าน Inlet เป็นเสมือนฝายสี่เหลี่ยมแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir)

$$Q = CLH^{3/2}$$

$$Q = 1.71\ B_1\ H_A^{3/2}$$

8. คำนวณหาระดับ “4” (ระดับพื้น Inlet) จากน้ำท่วมปากท่อ

ระดับ “4” = ร.น.ก. (หรือใช้ ร.น.ส.1) – $(1.78H_{VP} + 0.08)$ – D – 0.10

9. คำนวณหาระดับ “4” จากดินทับหลังท่อไม่น้อยกว่า 0.90 ม.

ระดับ “4” = ระดับ “6” – 0.90 – ความหนาท่อ – D - 0.10

10. เลือกใช้ค่าระดับ “4” ที่ต่ำกว่าระหว่างข้อ 8 และข้อ 9 อาจจะต้องมีการปรับระดับ “4” ให้น้อยลงอีกเพื่อให้ได้ผลต่างระหว่างระดับ “4” และ ระดับ “3” เป็นตัวเลขที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ

11. คำนวณระดับ “2” สูงสุด

ระดับ “2” สูงสุด = ร.น.ก. – H_A

12. ค่าของระดับ “2” ต่ำสุดเท่ากับค่าของระดับ “1” หรือระดับพื้นคลองด้านหน้าอาคาร

13. เลือกใช้ค่าของระดับ “2” ระหว่างข้อ 11 และข้อ 12 ซึ่งอาจจะเลือกใช้ระดับ “2” เท่ากับระดับ “4” ก็ได้

14. คำนวณหา L_U, L_{TU} และ L_C

L_U = $0.5\ b_u + 1.5$ (ระดับ “2” – ระดับ “1”)

L_{TU} = 1.5 (ระดับ “3” – ระดับ “2”)

L_C (โดยประมาณ) = B_m + 3.0 (ระดับ “6”) – 1.5 (ระดับ “3”) + T_L

หรือ T_R - 1.5 (ระดับ “7”) + 0.5 (Min.)

โดย B_m = ความกว้างของชานคลองด้านหน้าอาคาร

15. หา Hu = ระดับ “3” – ระดับ “4” + 0.10

16. คำนวณหาการสูญเสียเฮดทั้งหมด, H_L

H_L = Entrance Loss + Friction Loss + Exit Loss

= $0.78\ H_{VP} + S_f L_C + 1.0\ H_{VP}$

17. หา ร.น.ส.2 = ร.น.ก. - H_L
18. หา ร.น.ส.2 = ระดับดินเดิม + 0.30
19. เลือกใช้ ร.น.ส.2 ค่าต่ำสุด ระหว่างข้อ 17 และข้อ 18
20. คำนวณระดับ “5” จากความลึกน้ำท่วมปากท่อ

ระดับ “5” = ร.น.ส.2 - D - 0.05

21. คำนวณหาระดับ “5” จากระดับ “4”

ระดับ “5” = ระดับ “4” + 0.10

กรณีนี้แนวท่อไม่มีความลาดเท ถ้าแนวท่อมีความลาดเทให้พิจารณาค่าความลาดเทด้วย

22. คำนวณหาระดับ “5” จากค่า H_{HD} ต่ำสุด

ระดับ “5” = ร.น.ส.2 + 0.20 – 0.65 - D

23. พิจารณาเลือกใช้ค่าระดับ “5” ต่ำสุด ระหว่างข้อ 20, ข้อ 21 และ ข้อ 22
24. หาระดับ 7 = ร.น.ส.2 + Freeboard
25. หา H_{HD} = ระดับ “7”– ระดับ “5” ถ้า H_{HD} ไม่ใช่ตัวเลขที่เหมาะสม ให้ทำการปรับค่าแล้วหาค่าของระดับ “5” ใหม่
26. หาค่า $L_{TD} = 1.5\ H_{HD}$
27. คำนวณหาขนาดคูส่งน้ำเพื่อหาความลึกน้ำในคู (dd) และความกว้างของคู (bd) โดยปกติใช้ความลาดเทตลิ่งของคู 1:1
28. หาระดับ “9” = ร.น.ส.2 – dd
29. หาระดับ “9” = ระดับ “8”
30. หาความยาว L_1=6 (ระดับ “8” – ระดับ “5”) แล้วให้พิจารณาปรับค่าเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม

31. พิจารณาใช้ค่า L_2 เท่ากับ 1.50 เมตร
32. ตรวจสอบค่าความยาว L_C ใหม่
33. ตรวจสอบ Weighted Creep Ratio โดยพิจารณาในกรณีระดับน้ำด้านหน้าอยู่ที่ระดับ Full Supply และด้านท้ายระดับน้ำต่ำสุด (กรณีน้ำแห้ง)

    ถ้ากรณี Weighted Creep น้อยกว่า 5.0 พิจารณาใช้ Collar เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด Piping ถ้าต้องใช้Collar มากกว่า 2 ตำแหน่ง ระยะสุทธิระหว่าง Collar ต้องไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร

2. <u>การออกแบบท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อหักงอ (TYPE B)</u>

ข้อมูลที่ต้องการ

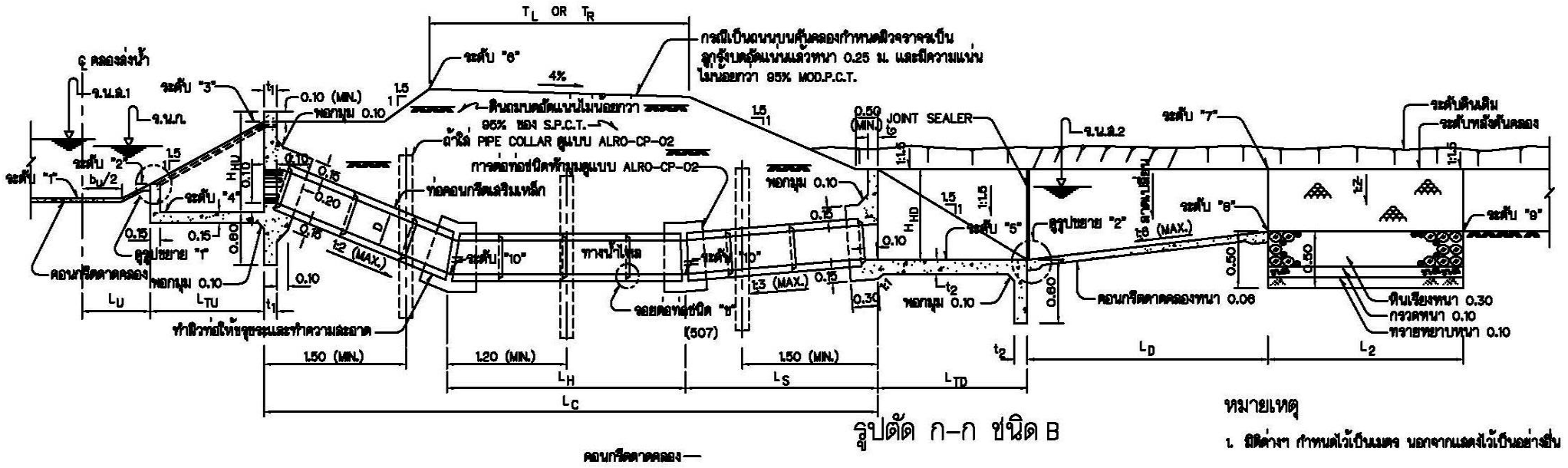
- อัตราการไหลในคูส่งน้ำ Q
- ระดับน้ำสูงสุดในคลองส่งน้ำ ร.น.ส. 1
- ระดับน้ำเก็บกักในคลองส่งน้ำ ร.น.ก.
- ระดับก้นคลอง ระดับ “1”
- ระดับชานคลอง ระดับ “3”
- ระดับหลังคันคลอง ระดับ “6”
- ระดับดินธรรมชาติ ระดับดินเดิม
- ความกว้างก้นคลอง b_U
- ความลึกของน้ำในคลอง d_U
- ความสูงของขอบคอนกรีต H_{CU}
- ความสูงของคันคอลง H_U
- ความกว้างของชานคลองฝั่งซ้ายหรือขวา B_L หรือ B_R
- ความกว้างของหลังคันคลองฝั่งซ้ายหรือขวา T_L หรือ T_R

เงื่อนไขการเลือกใช้ท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อหักงอ เหมือนกับของท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำแบบท่อหักงอ และขั้นตอนการออกแบบโดยใช้แบบมาตรฐานมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอน 1 ถึง 6 เหมือนการออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา TYPE A

7. คำนวณหาความลึกวิกฤติ (d_C) และความเร็ววิกฤติ (V_C) ของหน้าตัดวงกลม วิธีการเหมือนขั้นตอนที่ 6 ของการออกแบบท่อระบายน้ำปากคลองแบบท่อหักงอ

รูปที่ 3 ท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อหักงอ (แปลน)



รูปที่ 4 ท่อส่งน้ำเข้านาแบบท่อหักงอ (รูปตัด ก-ก)

8. คำนวณหาระดับ “4” จากน้ำท่วมปากท่อ

$$\text{ระดับ “4”} = \text{ร.น.ก.(หรือ ร.น.ส.1)} - \left(0.5\ \Delta H_V + \frac{V_C^2}{2g} + d_C + 0.10 \right)$$

$$\text{โดย} \quad \Delta H_V = \frac{V_C^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{กรณีนี้ไม่คิด } \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\Delta H_V = V_C^2 / 2g$$

9. คำนวณหาระดับ “4” จากดินทับหลังท่อไม่น้อยกว่า 0.90 เมตร

ระดับ “4” = ระดับ “6” – 0.90 – ความหนาท่อ -0.10

10. พิจารณาใช้ค่าระดับ “4” ที่ต่ำกว่าระหว่าง ข้อ 8 และข้อ 9 อาจจะต้องมีการปรับระดับ “4” ให้น้อยลงอีก เพื่อให้ได้ผลต่างระหว่างระดับ “3” และ ระดับ “4” เป็นตัวเลขที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ
11. คำนวณหาระดับ “2” เหมือนขั้นตอนที่ 7 และขั้นตอนที่ 11 ถึง 13 ของการออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา TYPE A
12. คำนวณหา L_U และ L_{TU}

L_U = 0.5 b_U + 1.5 (ระดับ “2” – ระดับ “1”)

L_{TU} = 1.5 (ระดับ “3” – ระดับ “2”)

13. หา H_{HU} = ระดับ “3” – ระดับ “4” + 0.10
14. คำนวณหาขนาดคูระบายน้ำเพื่อหาความลึกน้ำ (dd) ในคู และความกว้างของคู (bd) และค่า H_{VD} หรือ $\frac{V_d^2}{2g}$ โดยปกติจะใช้ความลาดเทของตลิ่งคู เท่ากับ 1:1
15. ร.น.ส.2 ควรจะอยู่สูงกว่าระดับดินเดิม (N.G.L) บริเวณต้นคูเท่ากับ 0.30

ร.น.ส.2 = N.G.L + 0.30

16. คำนวณหาระดับ “5” จากระดับน้ำท่วมปากท่อ

ระดับ “5” = ร.น.ส.2 - D - 0.05

17. คำนวณหาระดับ “5” จากค่า H_{HD} ต่ำสุด

ระดับ “5” = ร.น.ส.2 + 0.20 – 0.65 - D

18. พิจารณาเลือกใช้ค่าระดับ “5” ต่ำสุดระหว่างข้อ 16 และข้อ 17

19. หาระดับ “7” = ร.น.ส.2 + Freeboard
20. หาระดับ “8” = ร.น.ส.2 + dd
21. หาระดับ “9” = ระดับ “8”
22. หา H_{HD} = ระดับ “7” - ระดับ “5”
23. หา L_{TD} = 1.50 H_{HD}

24. หาค่า L_1 = 6 (ระดับ “8” - ระดับ “5”)
25. พิจารณาใช้ค่า L_2 เท่ากับ 1.50 เมตร
26. เหมือนการคำนวณทางชลศาสตร์ของ Pipe Drop เพื่อหาค่า F ของขั้นตอนที่ 14 ในการออกแบบท่อระบายน้ำปากคลองแบบท่อหักงอ
27. คำนวณหาระดับ “10”

    ระดับ “10” = ร.น.ส.2 + $H_{VCD} - (d_2 + H_{VP}) - 0.1d_2$

    คำนวณหาระยะแนวราบ (L_S) ของความยาวท่อช่วงท้าย ซึ่งความลาดเอียงไม่เกิน 1:3
28. คำนวณหาระยะแนวราบของความยาวท่อช่วงต้น ความลาดเอียงไม่เกิน 1:2
29. กรณี Outlet Transition ทำด้วยคอนกรีต ความยาวท่อแนวนอน (L_H) ไม่ควรน้อยกว่า 5D และ ($L_H + L_S$) ไม่ควรน้อยกว่า 4 d_2 หรือ 1.8 เมตร
30. คำนวณหาระยะแนวราบทั้งหมดของแนวท่อ (L_C)
31. ตรวจสอบ Weighted Creep Ratio เหมือนขั้นตอนที่ 33 ของการออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา TYPE A

3. <u>ตัวอย่างแบบมาตรฐาน</u>

แบบมาตรฐานท่อส่งน้ำเข้านา ประกอบด้วยแบบมาตรฐานดังต่อไปนี้

- แบบมาตรฐานหมายเลข สปก.-มฐ-04 แผ่นที่ 38/41 แสดงแปลน รูปตัด และรูปขยาย
- แบบมาตรฐานหมายเลข สปก.-มฐ-04 แผ่นที่ 39/41 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็ก

4. <u>ตัวอย่างการคำนวณออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา</u>

ประกอบด้วยข้อมูลประกอบการคำนวณ ขั้นตอนการออกแบบท่อส่งน้ำเข้านา และผลจากออกแบบตามลำดับ