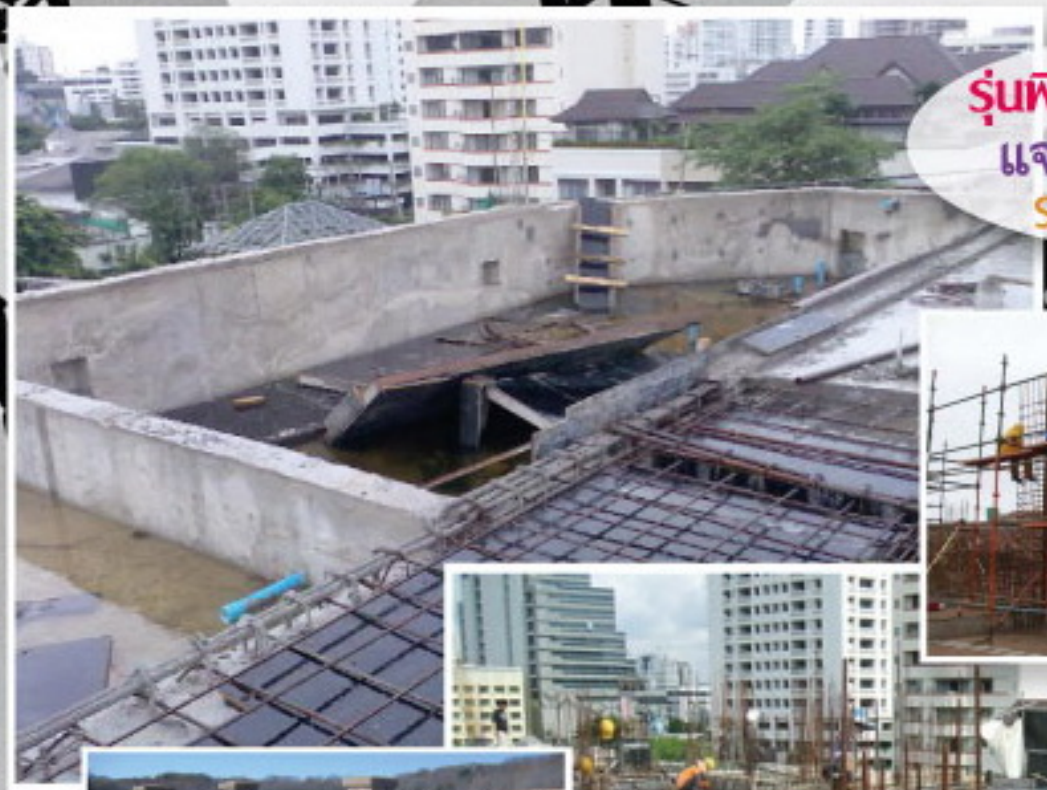
TUMCIVIL.COM
Engineering Software Center
engfanatic CLUB

คู่มือ โครงการอบรม
การคำนวณและออกแบบ

เรียบเรียงโดย ผศ.สมศักดิ์ คำปลิว และ ทีมงาน

สระว่ายน้ำและบ่อบำบัด
เขื่อนและกำแพงกันดิน
การจัดเหล็กโครงสร้าง



รุ่นพิเศษ ไม่มีจำหน่าย
แจกเพื่อการศึกษา
Spacial Edition

WorkShop

จัดโดย TumCivil

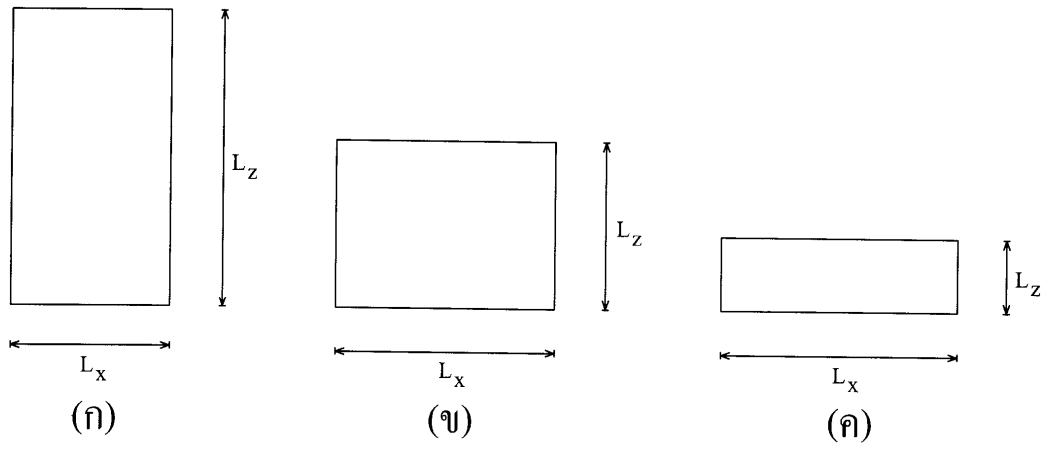
ดาวน์โหลดไฟล์การสอน และข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ www.tumcivil.com

การออกแบบถังเก็บน้ำบนดาดฟ้า, ใต้ดิน, สระว่ายน้ำ และถังบำบัดน้ำเสีย เฉพาะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การออกแบบถังบรรจุของเหลวทั้งแบบที่ตั้งบนดาดฟ้า ใต้ดิน ถังบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งสระว่ายน้ำ ที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะแบ่งการออกแบบเป็นสองส่วน คือส่วนของผนังด้านข้าง และส่วนที่เป็นพื้นทั้งฝาด้านบนที่อาจจะไม่มีเช่นสระว่ายน้ำ หรือมีแต่ไม่รับน้ำหนักมากนักเช่น ฝาถังบนดาดฟ้า หรือฝาถังด้านหลังอาคาร บางกรณีจะรับน้ำหนักมาก เช่นถังเก็บน้ำใต้ดินที่วางบนฐานรากและฝาด้านบนเป็นลานจอดรถใต้อาคาร ส่วนพื้นถังจะรับน้ำหนักมาก แต่ถ้าวางบนดินแน่นหรือเสาเข็มกลุ่มแล้วพื้นถังจะกระจายแรงได้ทั่วความหนาจะไม่มากนัก แต่ในกรณีที่ถังวางบนฐานรากหรือเสาเข็มที่รับน้ำหนักได้มาก ระยะห่างของเสาเข็มหรือฐานรากมากจะทำให้พื้นฐานรากหนาเนื่องจากแรงดันน้ำสูงมากนั่นเอง

การออกแบบผนังถัง มีลำดับขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จำแนกชนิดของถัง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การจำแนกชนิดผนังถัง

ชนิด (ก) เมื่อ $\frac{L_x}{L_z} < 0.5$ รูปทรงเป็นถังสูง ความดันของเหลวจะมาก การโก่งของผนังจะเหมือนพื้นทางแนวราบ เหล็กเสริมหลักจะขนานแนวนอน ส่วนเหล็กในแนวตั้งใช้ปริมาณขั้นต่ำ

ชนิด (ข) เมื่อ $0.5 \le \frac{L_x}{L_z} \le 2$ รูปทรงสูงปานกลาง ลักษณะของผนังจะเป็นแผ่นพื้นสองทางที่รับความดันรูปสามเหลี่ยม ถ้ามีฝาด้านบนก็จะเหมือนพื้นสองทางทั่วไปที่รับแรงสามเหลี่ยม แต่ถ้าไม่มีฝาด้านบนจะเหมือนแผ่นพื้นสองทางที่มีคานรองรับเพียงสามด้าน เหล็กเสริมหลักมีทั้งแนวตั้งและแนวนอน การหาแรงดัดจะอาศัยสัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 53 ใน Reinforced Concrete Designer's Handbook ของ Charles E. Reynolds กับ James C. Steedman

ชนิด (ค) เมื่อ $\frac{L_x}{L_z} > 2$ รูปทรงแบนๆ ลักษณะของผนังจะเหมือนกับเป็นแผ่นพื้นยื่นในแนวตั้งที่รับแรงดันของเหลวแบบสามเหลี่ยม และใช้ตารางที่ 132 ใน Reinforced Concrete Designer's Handbook ของ Charles E. Reynolds กับ James C. Steedman

ขั้นตอนที่ 2 หาแรงดัด

ผนังชนิด (ก) ให้ตัดแผ่นพื้นกว้าง 1.00 เมตรที่ขอบล่างสุด แล้วหาความดันเฉลี่ยเป็นน้ำหนักแผ่ แล้วคำนวณเป็นพื้นทางเดียวช่วงเดียว

$$M = \frac{1}{8} w L_x^2$$

ผนังชนิด (ข) ให้เลือกกราฟของตาราง 53 ที่เหมาะสมกับลักษณะของผนังที่มี 3 รูปแบบ คือ มีฝาบนที่แข็งแรงพอรับแรงดัดได้ด้วยใช้กราฟบนซ้าย แต่ถ้ามีฝาปิดแต่ไม่ค่อยแข็งแรงนักเพียงยึดขอบบนของผนังไม่ให้แบะอ้าหรือหุบเข้าได้ง่ายใช้กราฟบนขวา แต่ถ้าไม่มีฝาปิดเช่นสระว่ายน้ำหรือมีฝาปิดแต่ยึดไม่อยู่ให้ใช้กราฟล่างซ้าย

ผนังชนิด (ค) ให้เขียน Free-body diagram เป็นพื้นยื่นในแนวตั้ง แรงดันของเหลวเป็นรูปสามเหลี่ยม แรงลัพธ์จะสูงจากฐานผนังหนึ่งในสามของความสูง

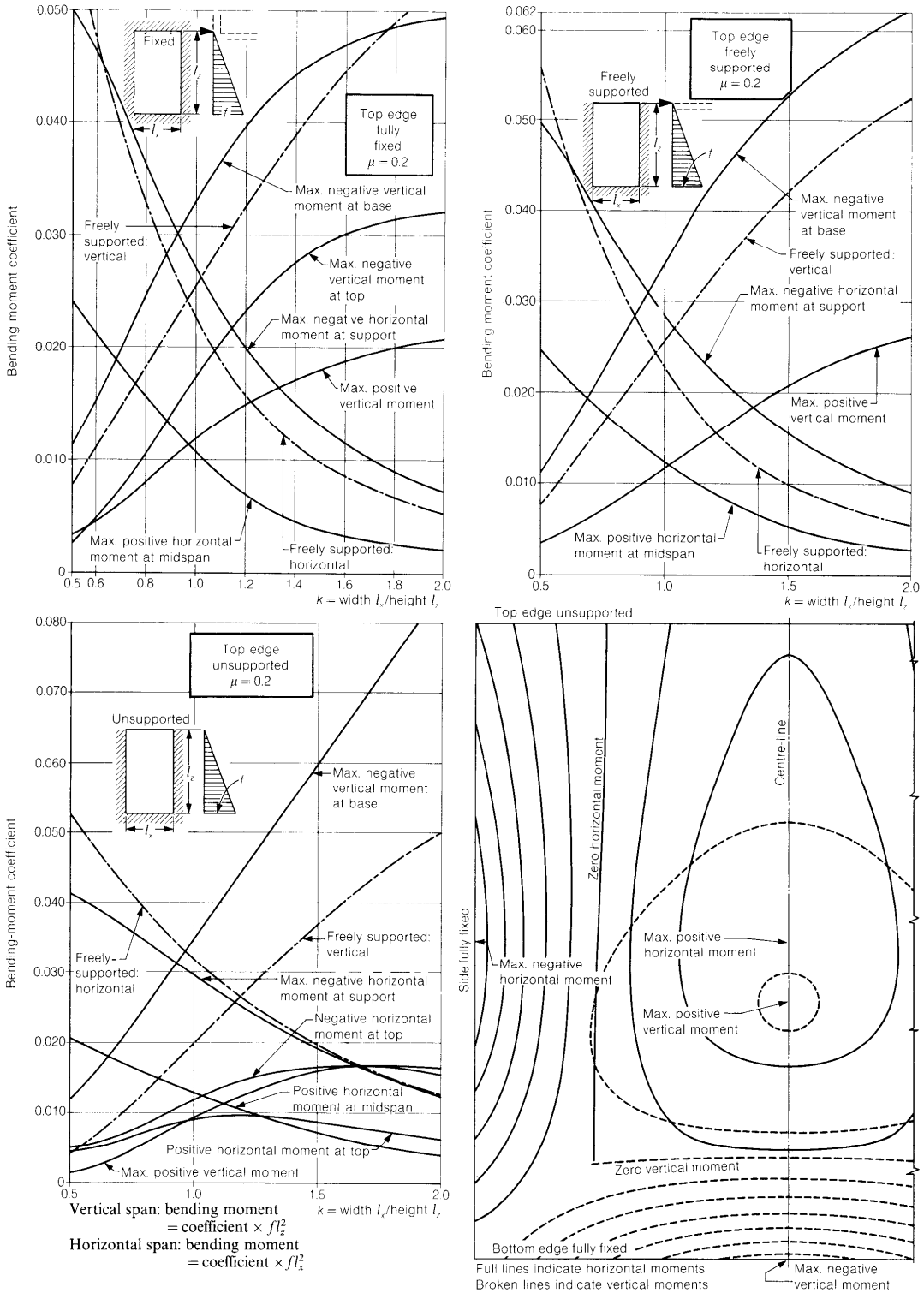
ขั้นตอนที่ 3 หาความหนาของผนัง

แรงที่กระทำต่อผนังจะพิจารณาจากสามกรณีคือ

- กรณีที่เกิดจากแรงดัด
- กรณีที่เกิดจากแรงดึงของผนังทิศทางตั้งฉากกับผนังที่พิจารณา
- กรณีที่เกิดจากการผสมกันของแรงดัดร่วมกับแรงดึง

การหาความหนาของผนังจะพิจารณาจากผลของแรงดัดอย่างเดียว

Two-way slabs: triangularly distributed loads: elastic analyses



รูปที่ 2 กราฟในการออกแบบผนังหรือพื้นรับแรงสามเหลี่ยม

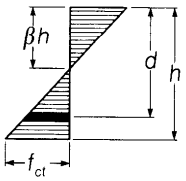
TumCivil.com Fanpage

TUMCIVIL.COM

การอบรมการออกแบบสระว่ายน้ำ โดย ผศ.สมศักดิ์ คำปลิว @ TumCivil.com (www.tumcivil.com)

			Concrete		Reinforcement			
	Modular ratio $\alpha_e = 15$		Grade 25	Grade 30	Minimum cover of concrete = 40 mm		Class of exposure A	Class of exposure B
Permissible stresses (N/mm²)	Resistance to cracking f_{ct}	In direct tension	1.31	1.44	Plain bars (minimum proportion of reinforcement near *each* face $\rho_1 = \frac{A_s}{bh} \not< 0.0025$)	In compression	125	125
		In tension due to bending	1.84	2.02		In direct tension	85	115
		In shear	1.94	2.19		In tension due to bending		
	Strength (increase bond stresses by 40% if deformed bars are used)	In direct compression	6.95	8.37		In shear		
		In compression due to bending	9.15	11.00	Deformed bars (minimum proportion of reinforcement near *each* face $\rho_1 = \frac{A_s}{bh} \not< 0.0015$)	In compression	140	140
		In shear.	0.77	0.87		In direct tension	100	130
		Anchorage bond	0.90	1.00		In tension due to bending		
		Local bond	1.36	1.49		In shear		

Tension reinforcement only (i.e. reinforcement provided near compression face may be ignored)



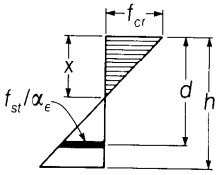
Resistance to cracking: determines thickness h.

$$h \not< \sqrt{\frac{M_d}{K_{dc} b}} \quad \text{where} \quad K_{dc} = \frac{f_{ct}}{1-\beta}\left[\tfrac{1}{3} - (1-\beta)\beta + 14\rho_1\left(\frac{d}{h} - \beta\right)^2\right] \quad \text{and} \quad \beta = \frac{(1/2) + 14\rho_1(d/h)}{1 + 14\rho_1}$$

Substitute assumed or given values of ρ_1 and d/h to obtain K_{dc} and β.

Moment of resistance $M_{dc} = K_{dc} b h^2$.

Design for strength: determines reinforcement A_s required.



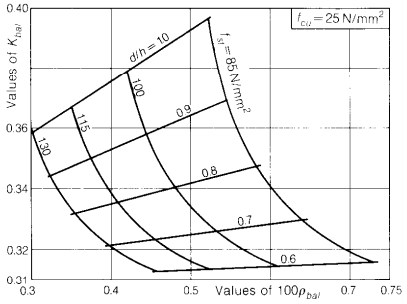
$$A_s \not< \frac{M_d}{f_{st} z} \quad \text{where} \quad z = d - \tfrac{1}{3}x \quad \text{and} \quad \frac{x}{d} = \sqrt{[(15\rho)^2 + 30\rho]} - 15\rho \qquad \rho = \rho_1\left(\frac{h}{d}\right)$$

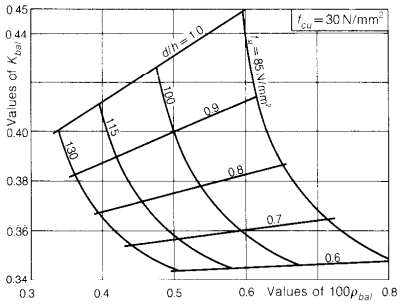
Moment of resistance $M_{ds} = K_{ds} b h^2$ where $K_{ds} = \rho_1 f_{st} z/h$.

Case 1
Bending only

(a) Tensile stress at face in contact with liquid

Balanced design: charts below give values of ρ_{bal} and $K_{bal} = K_{dc} = K_{ds}$ for balanced design.





Normal design procedure
1. Assume values for h and d and read K_{bal} from appropriate chart above.
2. Calculate $K = M_d/bh^2$.
3. If $K < K_{bal}$, calculate $A_s = M_d/zf_{st}$ where a convenient approximation for z is $z \simeq d - h/10$.

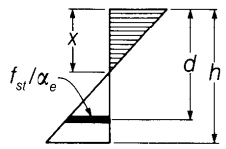
Tension and compression reinforcement: use charts given on *Tables 134* and *135* with $N_d/bh = 0$.

Case 1
Bending only

(b) Tensile stress at face remote from liquid

(i) $h < 225$ mm: apply case 1(a)

(ii) $h \not< 225$ mm
Design for strength only:



$$d \not< \sqrt{\frac{M_d}{K_{conc} b}} \qquad A_s = \frac{M_d}{f_{st} z} \qquad \rho_1 = \frac{A_s}{bh}$$

Value for K_{conc} depends on f_{cr} and f_{st}.

Stresses: given d and ρ_1 or A_s. Obtain x/d and z/d as case 1(a). Actual $f_{st} = M_d/A_s z$ and actual $f_{cr} = (f_{st} x)/(15(d-x))$

รูปที่ 3 กราฟในการออกแบบผนังหรือพื้น ระบบโมดูลาร์

TumCivil.com
TumCivil.com Fanpage
TUMCIVIL.COM

ความหนาของแผ่นพื้น

$$h \geq \sqrt{\frac{M}{Kb}}$$

$$h = d + c + \frac{d_b}{2}$$

เมื่อ M = แรงดัดจากแรงดัดน้ำหรือดิน, kg.cm

K = สัมประสิทธิ์แรงดัดจากตารางที่ 132 ของ Reynold

b = ความกว้างของผนัง ส่วนมากจะตัดมากว้าง 1.00 เมตร

d = ความหนาประสิทธิผล, cm

d_b = เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม, cm

c = ระยะหุ้ม (covering) , cm

เมื่อ $d_b > 16$ mm ใช้ $c = 5$ cm

เมื่อ $d \leq 16$ mm ใช้ $c = 4.5$ cm

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาณเหล็กเสริม

เหล็กทางตั้ง

$$A_s = \frac{M}{f_s z}$$

เมื่อ A_s = เนื้อที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึงทางตั้ง , cm^2

M = แรงดัดจากแรงดัดน้ำหรือดิน kg.cm

h = ความหนาของผนัง, cm

d = ความหนาประสิทธิผล, cm

$z = d - \frac{h}{10}$ = แขนแรงดัด, cm

f_s = 150 ksc = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ เมื่อ $h \leq 22.5$ cm

$f_s = 1500$ ksc = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ เมื่อ $h > 22.5$ cm

สังเกตว่าต้องเป็นเหล็กข้ออ้อย SD-30

เหล็กทางนอน

หาเหล็กทางนอน ทั้ง M_H^- หรือ M_H^+ แบบเดียวกับหาเหล็กทางตั้ง จากนั้นหาปริมาณเหล็กจากแรงดึงจากผลของผนังในแนวตั้งฉาก โดยที่

ถ้า $\frac{L_x}{L_z} > 2$ ใช้ $F_l = \frac{qLy}{2}$

ถ้า $\frac{L_x}{L_z} \le 2$ ใช้ $F_2 = qL$

จากนั้นหาปริมาณเหล็กรับแรงดึง

$$A_{s1} = \frac{F_1}{1250} \text{ cm}^2 / \text{ สองผิว}$$

$$A_{s2} = \frac{F_2}{1250} \text{ cm}^2 / \text{ สองผิว}$$

ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำ มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 0.3 % ต่อสองผิว หรือ 0.15 % ต่อหนึ่งผิว ดังนั้น

$$A_{s,min} = 0.0030bh \text{ cm}^2 / \text{ สองผิว}$$

$$A_{s,min} = 0.0015bh \text{ cm}^2 / \text{ หนึ่งผิว}$$

การคำนวณตั้งแต่การหาแรงดัดมานั้น ต้องพิจารณากรณีที่จะเป็นไปได้ทั้งหมด เช่น ก่อสร้างถังแล้วยังไม่ถมดินด้านข้าง ใส่น้ำเต็มถัง หรือถมดินด้านข้างแต่งในถังยังไม่มีน้ำ

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบเสถียรภาพการลอยตัวของถัง

ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียดการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 1 ให้ออกแบบถังเก็บน้ำใต้ดิน ความกว้างขอบใน 3.00 เมตร ความยาวขอบใน 10.00 เมตร ลึกขอบใน 2.00 เมตร ส่วนของพื้นถังยื่นออกจากขอบนอก 0.70 เมตร โดยรอบ กำลังประลัยของคอนกรีต $f_c' = 250$ ksc เหล็กเสริมข้ออ้อย SD-30 มีจุดคราก $f_y = 3000$ ksc หน่วยน้ำหนักดินแห้ง $\gamma_{dry} = 1.9 \text{ t/m}^3$ หน่วยน้ำหนักดินเปียก $\gamma_{wet} = 2.2 \text{ t/m}^3$ มุมเสียดทานดิน $\phi = 20$ องศา แรงกดที่ผิวดิน (surcharge) 1 t/m^2

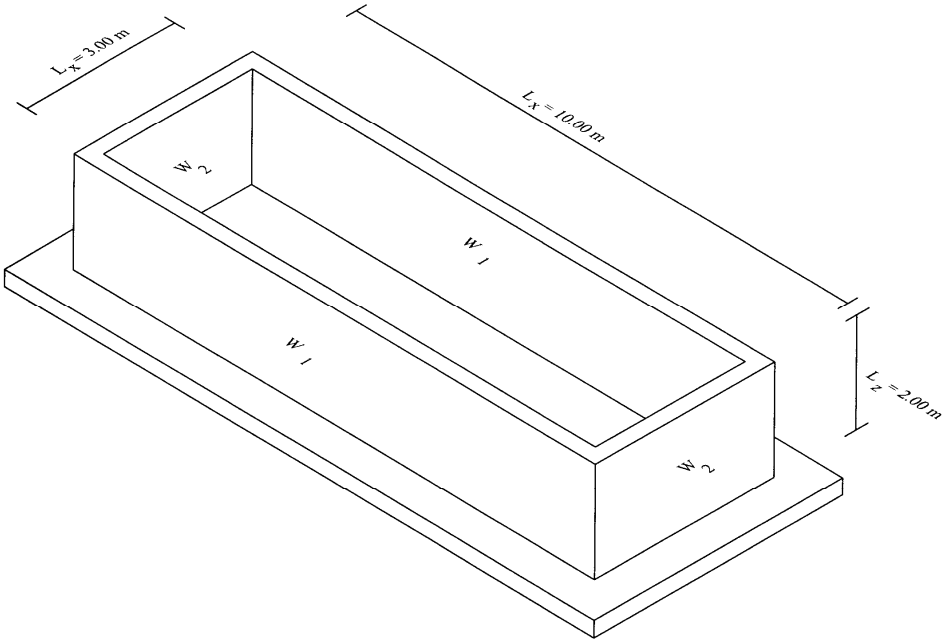
วิธีทำ ประมาณความหนาของผนังเป็น T_1 และความหนาของพื้นท้องถังเป็น T_2 ดูรูปในหน้าถัดไป ผนัง W_1 และ W_2

ออกแบบผนัง W_1

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบชนิดผนัง

ความกว้างขอบใน $L_x = 10.00 \text{ m}$

ความสูงขอบใน $L_z = 2.00 \text{ m}$



รูปที่ 4 ถังเก็บน้ำใต้ดิน

อัตราส่วน $\frac{L_x}{L_z} = \frac{10.00}{2.00} = 5 > 2$

ผนังเป็นชนิด (ค) แบนมาก เหมือนเป็นพื้นยื่นในแนวตั้ง ตัดผนังกว้าง 1.00 เมตร มาพิจารณา

ขั้นตอนที่ 2 หาแรงดัด

กรณีที่สร้างเสร็จใหม่ๆ ยังไม่ถมดินด้านข้าง ใส่น้ำเต็มเพื่อทดสอบ ดูรูปที่ 6 ประกอบ ที่ขอบบนมีความดัน 0 ที่ขอบล่างมีความดัน $\gamma_w H$ โดยหน่วยน้ำหนักน้ำ $\gamma_w = 1000\ \text{kg/m}^3$ และความสูงของน้ำ $H = 2.00\ \text{m}$

เฉลี่ยความดัน $p = \frac{0 + \gamma_w H}{2} = \frac{1}{2}\gamma_w H \quad \text{kg/m}^2$

พื้นที่ที่แรงดันกระทำ $1.00 \times H = H \quad \text{m}^2$

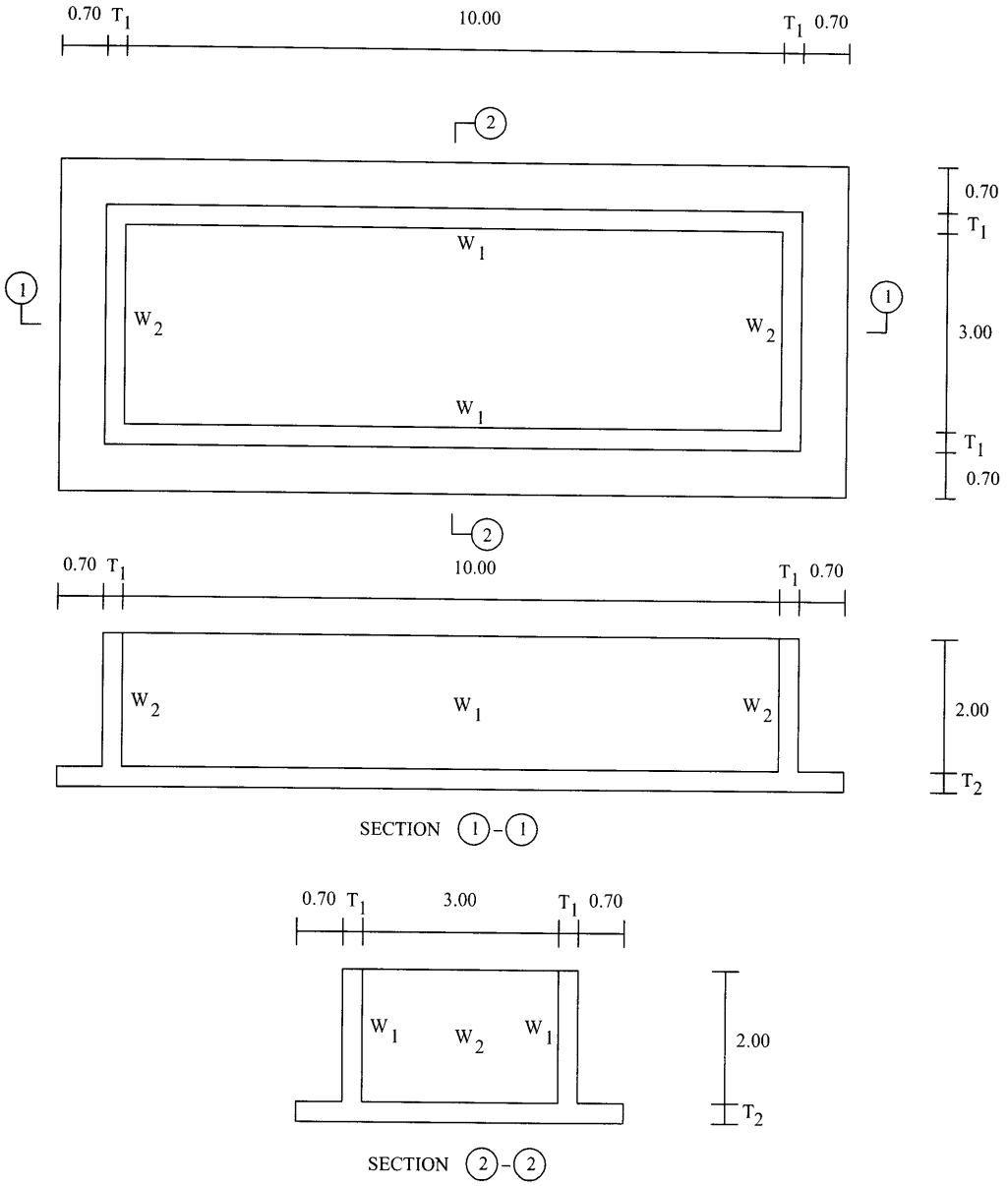
แรงดันบนผนัง $F = \frac{1}{2}\gamma_w H \times H = \frac{1}{2}\gamma_w H^2 \quad \text{kg}$

ตำแหน่งของแรงดันอยู่ที่เซนทรอยด์ของสามเหลี่ยมความดันคือ $\frac{H}{3}$ จากพื้นถัง

แรงดัดที่พื้นถัง

$$M = \frac{1}{2}\gamma_w H^2 \times \frac{H}{3} = \frac{1}{6}\gamma_w H^3 = \frac{1}{6} \times 1000 \times 2.00^3 = 1333.33 \ \text{kg.m}$$

$M = 133{,}333 \ \text{kg.m}$



รูปที่ 5 แปลนและรูปตัดของถังเก็บน้ำ

ขั้นตอนที่ 3 หาความหนาของผนัง

สมมติความหนา $h = 30$ cm และสมมติใช้เหล็ก DB 12 mm. และ DB 16 mm.

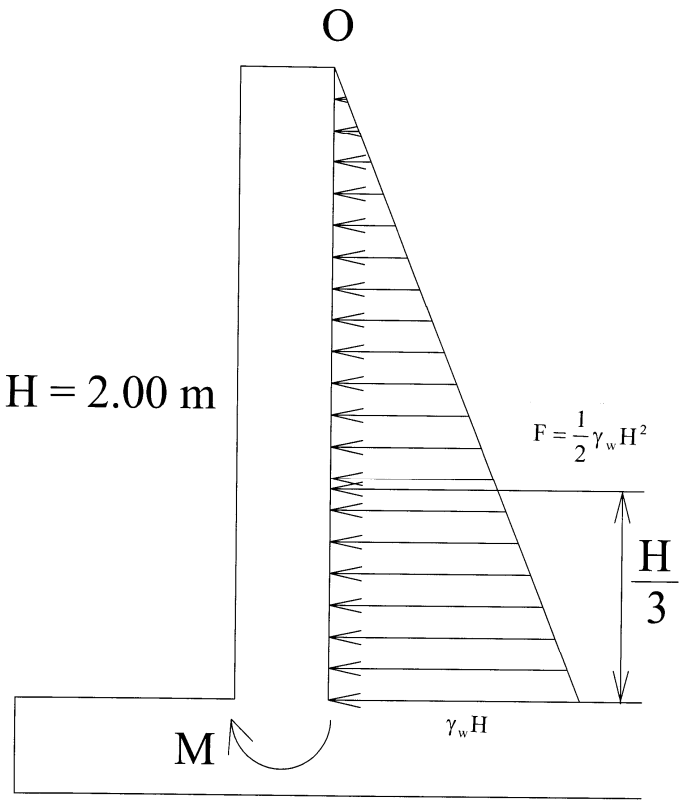
หาความหนาประสิทธิผล d

$$d = h - c - \frac{d_b}{2}$$

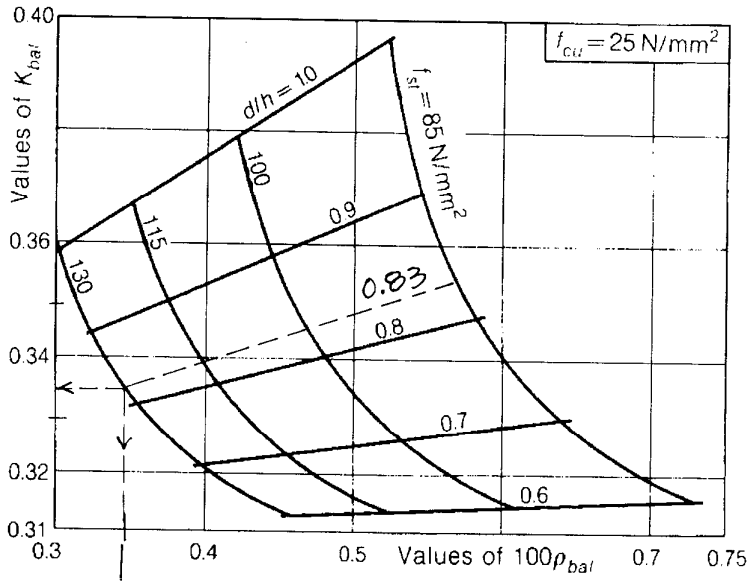
DB 12 mm, $d = 30 - 4.5 - \frac{1.2}{2} = 24.9$ cm

DB 16 mm., $d = 30 - 4.5 - \frac{1.6}{2} = 24.7$ cm

กรณีแรงดันน้ำ ใช้เหล็ก DB 12 mm. จึงใช้ d = 24.9 cm



รูปที่ 6 หาแรงดัดจากแรงดันน้ำภายในถัง



$K_{bal} = 0.335 \ N/mm^2$

$K_{bal} = 3.35 \ ksc$

$100\rho_{bal} \approx 0.34$

รูปที่ 7 การหาสัมประสิทธิ์ K จากตาราง 132

อัตราส่วน $\frac{d}{h} = \frac{24.9}{30} = 0.83$

หาค่า K_{bal} และ ρ_{bal} จากตาราง 132

สมมติให้ $f_s = 1300 \ \text{ksc} = 130 \ \text{N/mm}^2$

$f_{cu} = f_c^{'} = 250 \ \text{ksc} = 25 \ \text{N/mm}^2$

ดูกราฟรูปที่ 7 กรณีที่ $f_{cu} = 25 \ \text{N/mm}^2$ ลากแนว $\frac{d}{h} = 0.83$ อยู่ระหว่าง 0.8 กับ 0.9 โดยค่อนไปทาง 0.8 ให้ไปตัดเส้น $f_s = 130 \ \text{N/mm}^2$ ลากจากจุดตัดขนานแกนนอนไปตัดแกนตั้งเป็นค่าของ K_{bal} และลากจากจุดตัดขนานแกนตั้งไปตัดแกนนอนเป็นค่าของ $100\rho_{bal}$ ซึ่งพบว่า

$K_{bal} = 0.335 \ \text{N/mm}^2 = 3.35 \ \text{ksc}$

$100\rho_{bal} = 0.34$

$\rho_{bal} = \frac{0.34}{100} = 0.0034$

ตรวจสอบความหนาจาก

$$h \geq \sqrt{\frac{M_d}{K_{dc} b}} = \sqrt{\frac{133{,}333}{3.35 \times 100}} = 19.95 \ \text{cm} < 30 \ \text{cm}$$

ความหนาที่คาดเดาก่อนหน้านั้นใช้ได้

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาณเหล็กเสริม

เหล็กเสริมแนวตั้งรับแรงดัด M

$$A_s = \frac{M}{f_s z}$$

โดยที่ $M = 133{,}333 \ \text{kg.cm}$

$f_s = 1300 \ \text{ksc}$

$z = d - \frac{h}{10} = 24.9 - \frac{30}{10} = 21.9 \ \text{cm}$

ดังนั้น $A_s = \frac{133{,}333}{1300 \times 21.9} = 4.68 \ \text{cm}^2/\text{m}$

ระยะเรียงเหล็ก s หาได้จาก

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{1.131}{4.68} = 0.24 \ \text{m}$$

ใช้เหล็กเสริมทางตั้งรับแรงดัด DB 12 mm.@ 0.20 m.

เหล็กเสริมแนวนอนคิดเพียงผิวเดียว

$$A_{s,min} = 0.0015bh = 0.0015 \times 100 \times 30 = 4.5 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

ระยะเรียงเหล็ก s หาได้จาก

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{1.131}{4.5} = 0.251 \text{ m}$$

ใช้เหล็กเสริมทางนอน DB 12 mm.@ 0.25 m.

หมายเหตุ เหล็กทางตั้งอาจจะหาโดยสมการพื้นฐานในวิธีหน่วยแรงใช้งาน คือ

$$A_s = \frac{M}{f_s jd}$$

เมื่อ $f_c' = 250$ ksc

$f_c = 0.375 f_c' = 0.375 \times 250 = 93.75$ ksc > 65 ksc

ใช้ $f_c = 65$ ksc ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6

$f_y = 3000$ ksc

$f_s = 0.5 f_y = 0.5 \times 3000 = 1500$ ksc

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2{,}040{,}000}{15100\sqrt{f_c'}} = \frac{135.099}{\sqrt{f_c'}} = \frac{135.099}{\sqrt{250}} = 8.54$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{nf_c}} = \frac{1}{1 + \frac{1500}{8.54 \times 65}} = 0.27$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.27}{3} = 0.91$$

$$R = \frac{1}{2} f_c kj = \frac{1}{2} \times 65 \times 0.27 \times 0.91 = 7.985 \text{ ksc}$$

$$M_c = Rbd^2 = 7.985 \times 1.00 \times 24.9^2 = 4950.9 \text{ kg.m} >> 1333.33 \text{ kg.m O.K.}$$

$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{133333}{1500 \times 0.91 \times 24.9} = 3.92 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s,min}$$

สังเกตว่าผลการคำนวณจะน้อยกว่าที่หาตามตาราง 132 เนื่องจากค่า f_s มากกว่าที่ใช้ตามตาราง

หากจะออกแบบตามวิธีกำลัง ตัวคูณเพิ่มค่าของแรงดันเหมือนน้ำหนักบรรทุกจรคือ 1.7 แต่หากจะต้องยื่นขออนุญาตก่อสร้างในไทยต้องใช้ 2.0 สมมติว่าต้องขออนุญาต

$M_u = 2.0M = 2.0 \times 133{,}333 = 266{,}666$ kg.cm

$f_c' = 250$ ksc < 280 ksc ดังนั้น $\beta_1 = 0.85$

$f_y = 3000$ ksc

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f_c'}{f_y} \cdot \frac{6120}{6120 + f_y} = 0.85 \times \frac{0.85 \times 250}{3000} \times \frac{6120}{6120 + 3000}$$

$$\rho_b = 0.04040296$$

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b = 0.03030222$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{266{,}666}{0.9\times100\times24.9^2} = 4.778883495$$

$$\rho = \frac{0.85f_c'}{f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85f_c'}}\right] = \frac{0.85\times250}{3000}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times4.778883495}{0.85\times250}}\right]$$

$$\rho = 0.001611287 < \rho_{max} \quad \text{O.K}$$

$$A_s = \rho bd = 0.001611287\times100\times24.9 = 4.012 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

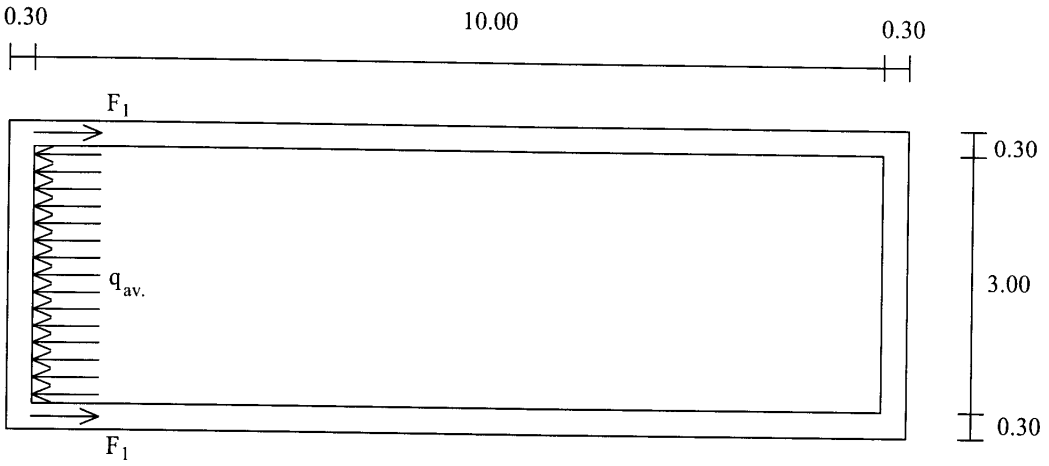
$$A_{s,min} = 0.0020bh = 0.0020\times100\times30 = 6 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$1.33A_s = 1.33\times4.012 = 5.336 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{1.131}{5.336} = 0.212 \ \text{m}$$

เหล็กทางตั้งใช้ DB 12 mm.@ 0.20 m.

คำนวณเหล็กแนวนอนรับแรงดึง



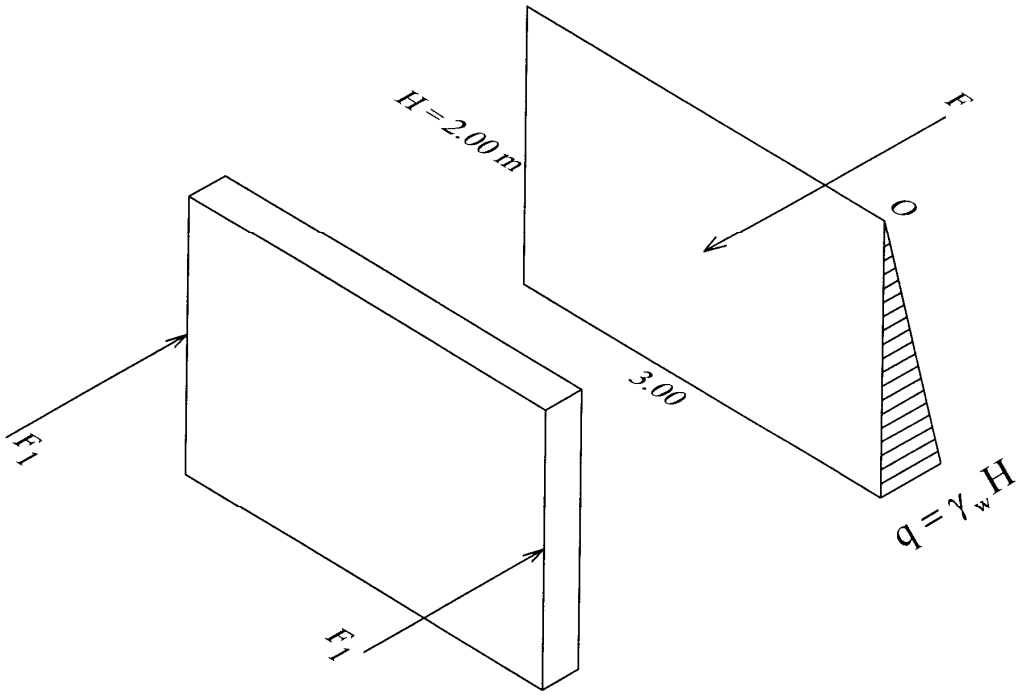
รูปที่ 8 การหาแรงดึงจากผนังด้านตั้งฉากเพื่อหาเหล็กแนวนอน

แนวการคิดคือ แรงดันภายในพยายามดันให้ผนัง W_2 เลื่อนออกไป ผนัง W_1 สองข้างพยายามดึงรั้งเอาไว้ด้วยแรง F_1 โดยที่พื้นถังไม่ช่วยอะไรเลย

พิจารณารูปที่ 9

ความดันขอบบน = 0

ความดันที่พื้นถัง $= \gamma_w H = 1000\times2.00 = 2000 \ \text{kg}/\text{m}^2$



รูปที่ 9 แรงดันจากน้ำกระทำต่อ W_2 แล้วต้านทานด้วย F_1 จาก W_1

ความดันเฉลี่ย $q_{av} = \frac{0+2000}{2} = 1000 \ \ kg/m^2$

แรงที่น้ำดันผนัง $F = q_{av}A = 1000 \times (2.00 \times 3.00) = 6000 \ \ kg$

สมดุลของแรง $2F_1 = F$

$F_1 = \frac{F}{2} = \frac{6000}{2} = 3000 \ \ kg$

ความหนาของผนัง $h > 22.5 \ \ cm$ ใช้ $f_s = 1500 \ \ ksc$ ตามข้อกำหนด

$$A_s = \frac{F_1}{f_s} = \frac{3000}{1500} = 2 \ \ cm^2/2 \text{ ผิว}$$

พบว่าน้อยกว่าเหล็กขั้นต่ำที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้แล้ว ดังนั้นยังคงใช้เหล็กทางนอน

DB 12 mm.@ 0.25 m.

ระยะฝังพื้นฐาน มีผลต่อความหนาของพื้นถัง

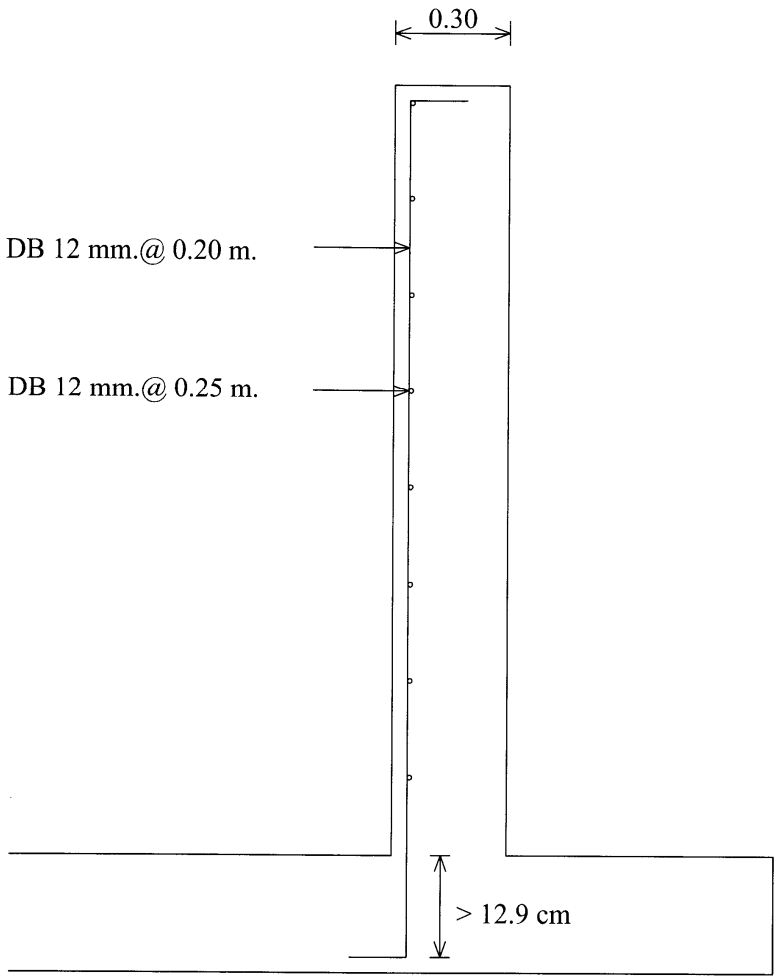
$$\ell_b = 0.06A_b \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} = 0.06 \times 1.131 \times \frac{1500}{\sqrt{250}} = 12.9 \ \ cm$$

หาคิดระยะหุ้ม 4.5 cm ความหนาฐานรากต้องไม่น้อยกว่า

$$h_b = 12.9 + 4.5 = 17.4 \ \ cm$$

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบเสถียรภาพการลอยตัว ในขั้นตอนนี้ยังไม่ทำ

ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียดการเสริมเหล็ก



รูปที่ 10 แสดงการเสริมเหล็กรับแรงดันน้ำภายในของ W_1

ออกแบบผนัง W1 กรณีที่ถมดินชุ่มน้ำข้างนอกแต่ข้างในไม่มีน้ำอยู่เลย

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบชนิดของผนัง ได้ตรวจสอบมาก่อนแล้ว เป็นชนิด (ค) เหมือนพื้นยื่นในแนวดิ่ง

ขั้นตอนที่ 2 หาแรงดัด เขียนรูปแสดงความดันบนผนัง

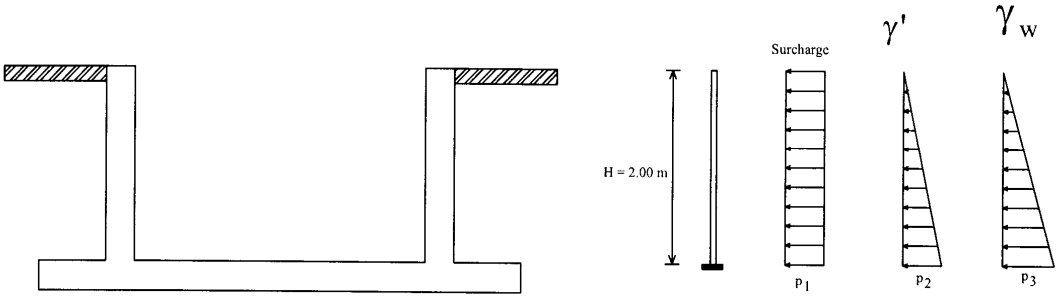
ความดันจากน้ำและดินจะแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ

p_1 เป็นแรงกดที่ผิวดิน (surcharge) จะมีค่าสม่ำเสมอตลอดความลึก

p_2 เป็นความดันจากเนื้อดินกระจายเป็นสามเหลี่ยม

p_3 เป็นความดันน้ำกระจายเป็นสามเหลี่ยม

.ขนาดของ p_1 , p_2 และ p_3 เลือกใช้ค่าสูงสุดของแต่ละกรณี



รูปที่ 11 ความดันด้านนอกกระทำต่อผนังบ่อ

ส่วนของแรงกดผิวดินและจากเนื้อดินจะต้องปรับค่าด้วยสัมประสิทธิ์ Ka ที่มีผลจากความฝืดระหว่างเม็ดดิน

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \frac{1-\sin 20^o}{1+\sin 20^o} = 0.4903$$

$$p_1 = K_a \times \text{surcharge} = 0.4903 \times 1000 = 490.3 \ \text{kg/m}^2$$

$$p_2 = K_a \gamma' H = 0.4903 \times (2200-1000) \times 2.00 = 1176.72 \ \text{kg/m}^2$$

$$p_3 = \gamma_w H = 1000 \times 2.00 = 2000 \ \text{kg/m}^2$$

แรงดัดที่โคนผนังติดกับพื้นถัง คิดจากผนังกว้าง 1.00 เมตร เป็นพื้นยื่น หาแรงดัดที่พื้นยื่นต้องรับได้ดังนี้

M = ความดันเฉลี่ย × กว้าง × ลึก × แขนแรงดัด

$$M_1 = p_1 \times 1.00 \times H \times \frac{H}{2} = \frac{p_1 H^2}{2} = \frac{490.3 \times 2.00^2}{2} = 980.6 \ \text{kg.m}$$

$$M_2 = \frac{0+p_2}{2} \times 1.00 \times H \times \frac{H}{3} = \frac{p_2 H^2}{6} = \frac{1176.72 \times 2.00^2}{6} = 784.48 \ \text{kg.m}$$

$$M_3 = \frac{0+p_3}{2} \times 1.00 \times H \times \frac{H}{3} = \frac{p_3 H^2}{6} = \frac{2000 \times 2.00^2}{6} = 1333.33 \ \text{kg.m}$$

$$M = M_1 + M_2 + M_3 = 980.6 + 784.48 + 1333.33 = 3098.41 \ \text{kg.m}$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบความหนา ซึ่งได้ประมาณไว้แล้วว่า h = 0.30 m จะเพียงพอหรือไม่

จากกราฟ 132 ของ Reynolds เป็น Case 1 bending only (b) Tensile stress at face remote from liquid บริเวณที่เกิดแรงดึงอยู่ที่ผิวนอกซึ่งสัมผัสดิน คนละผิวกับที่สัมผัสของเหลว (น้ำ)

(i) h < 225 mm: apply case 1(a) ถ้าความหนาของผนังน้อยกว่า 225 มิลลิเมตร ให้ใช้กรณี 1(a)

. (ii) h ≥ 225 mm: Design for strength only เป็นกรณีที่ผนังหนาเท่ากับหรือมากกว่า 225 มิลลิเมตร ให้ออกแบบด้านกำลังอย่างเดียว คือออกแบบรับแรงดัดนั่นเอง

เมื่อออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งาน

เมื่อ $f_c^{'} = 250 \ \text{ksc}$

$f_c = 0.375 f_c^{'} = 0.375 \times 250 = 93.75 \ \text{ksc} > 65 \ \text{ksc}$

ใช้ $f_c = 65 \ \text{ksc}$ ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6

$f_y = 3000 \ \text{ksc}$

$f_s = 0.5 f_y = 0.5 \times 3000 = 1500 \ \text{ksc}$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2{,}040{,}000}{15100\sqrt{f_c^{'}}} = \frac{135.099}{\sqrt{f_c^{'}}} = \frac{135.099}{\sqrt{250}} = 8.54$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} = \frac{1}{1 + \frac{1500}{8.54 \times 65}} = 0.27$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.27}{3} = 0.91$$

$$R = \frac{1}{2} f_c kj = \frac{1}{2} \times 65 \times 0.27 \times 0.91 = 7.985 \ \text{ksc}$$

$M_c = Rbd^2 = 7.985 \times 1.00 \times 24.9^2 = 4950.9 \ \text{kg.m} > 3098.41 \ \text{kg.m}$ O.K.

แสดงว่าความหนา h = 30 cm เพียงพอในการรับแรงดัดแล้ว

เมื่อออกแบบวิธีกำลัง

หากจะออกแบบตามวิธีกำลัง ตัวคูณเพิ่มค่าของแรงดันเหมือนน้ำหนักบรรทุกจรคือ 1.7 แต่หากจะต้องยื่นขออนุญาตก่อสร้างในไทยต้องใช้ 2.0 สมมติว่าต้องขออนุญาต

$M_u = 2.0M = 2.0 \times 3098.41 \times 100 = 619{,}682 \ \text{kg.cm}$

$f_c^{'} = 250 \ \text{ksc} < 280 \ \text{ksc}$ ดังนั้น $\beta_1 = 0.85$

$f_y = 3000 \ \text{ksc}$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85 f_c^{'}}{f_y} \cdot \frac{6120}{6120 + f_y} = 0.85 \times \frac{0.85 \times 250}{3000} \times \frac{6120}{6120 + 3000}$$

$\rho_b = 0.04040296$

$\rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.03030222$

สมมติให้ $\rho = \rho_{max} = 0.03030222$

$$R_u = \rho f_y \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f_c^{'}}\right)$$

.

$$R_u = 0.03030222 \times 3000 \times \left(1 - 0.03030222 \times \frac{3000}{250}\right)$$

$$R_u = 57.85057667 \ \text{ksc}$$

$$\phi M_n = \phi R_u bd^2 = 0.9 \times 57.85057667 \times 100 \times 24.7^2$$

$$\phi M_n = 3{,}176{,}465 \ \text{kg.cm} > M_u = 619{,}682 \ \text{kg.cm} \ \text{O.K.}$$

ค่า d = 24.7 cm เพราะเหตุที่แรงดัดมาก เหล็กที่ใช้โตขึ้นคาดว่าจะเป็น DB 16 mm. จึงต้องใช้ค่า d = 24.7 cm แทนที่จะเป็น d = 24.9 cm ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้เหล็ก DB 12 mm.

ผลการตรวจสอบพบว่าความหนา h = 30 cm เพียงพอรับแรงดันของดินชุ่มน้ำรวมทั้งแรงกดผิวดินได้

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาณเหล็กเสริม

เมื่อออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้งาน

$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{3098.41 \times 100}{1500 \times 0.91 \times 24.7} = 9.19 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้ DB 16 mm มี $A_{s1} = 2.01 \ \text{cm}^2$ หาระยะเรียงของเหล็ก s

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{2.01}{9.19} = 0.219 \ \text{m}$$

ใช้เหล็กทางตั้งผิวนอกของผนัง W_1 เป็น DB 16 mm.@ 0.20 m.

เมื่อออกแบบวิธีกำลัง

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{619{,}682}{0.9 \times 100 \times 24.7^2} = 11.28580301 \ \text{ksc}$$

$$\rho = \frac{0.85 f_c'}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 f_c'}}\right] = \frac{0.85 \times 250}{3000} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11.28580301}{0.85 \times 250}}\right]$$

$$\rho = 0.003867518 < \rho_{max} \ \text{O.K}$$

$$A_s = \rho bd = 0.003867518 \times 100 \times 24.7 = 9.553 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 0.0020bh = 0.0020 \times 100 \times 30 = 6 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{2.01}{9.553} = 0.21 \ \text{m}$$

ใช้เหล็กทางตั้งผิวนอกของผนัง W_1 เป็น DB 16 mm.@ 0.20 m.

ระยะฝังพื้นฐาน $\ell_b = 0.06 A_b \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} = 0.06 \times 2.01 \times \frac{3000}{\sqrt{250}} = 22.9 \ \text{cm}$

เหล็กแนวนอนเป็นเหล็กกันร้าวหรือปริมาณขั้นต่ำ คิดเพียงผิวนอกผิวเดียว

$$A_{s.min} = 0.0015bh = 0.0015 \times 100 \times 30 = 4.50 \ \text{cm}^2$$

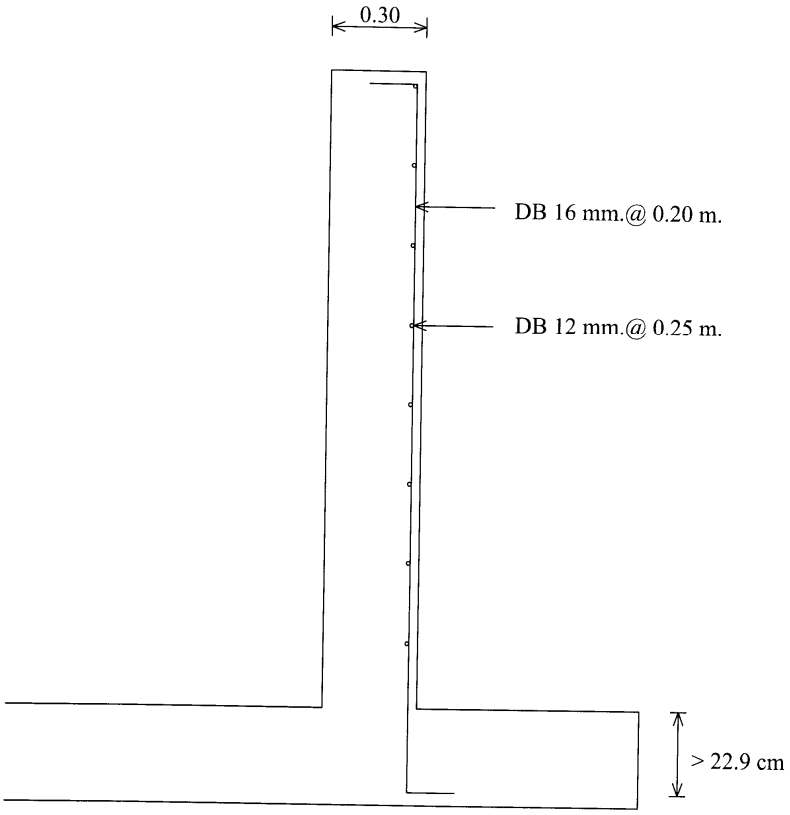
เหล็ก DB 12 mm. มี $A_{s1} = 1.131 \ \text{cm}^2$ หาระยะเรียง s

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{1.131}{4.50} = 0.251 \text{ m}$$

ใช้เหล็กทางนอนริมนอกถัง DB 12 mm.@ 0.25 m.

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบเสถียรภาพของการลอยตัวของถัง ยังไม่ทำในตอนนี้

ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียดการเสริมเหล็ก



รูปที่ 12 รายละเอียดการเสริมเหล็กด้านนอกผนัง W_1

ออกแบบผนัง W_2

กรณีที่มีน้ำด้านใน ด้านนอกยังไม่ถมดิน

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบชนิดของผนัง ใช้กราฟ 53 ของ Reynolds แผ่นพื้นรับแรงดันรูปสามเหลี่ยม แบ่งตามการยึดขอบบนของถังได้ 3 แบบคือ

แบบที่ 1 ฝายึดแน่น (Fixed) เช่นถังเก็บน้ำใต้ดินที่ฝาถังเป็นพื้นชั้นล่างหรือพื้นที่จอดรถ ความหนาฝาถังมากพอที่รับทั้งแรงและแรงดัดได้

แบบที่ 2 ฝายึดไม่แน่น (Freely supported) มีฝาปิดบางๆ ซึ่งรับแรงดัดแทบไม่ได้เลย เช่นใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมตัว (solid plank) วางแทนแบบ ผูกตะแกรงเหล็ก

หรือปู wiremesh *มีเหล็กเสียบยึดกับผนังบ่อพับประสานกับเหล็กเสริม* แล้วเทคอนกรีตทับหน้า กรณีนี้พอจะช่วยยึดไม่ให้ขอบบนถังแบะอ้าแต่ทว่ารับแรงดัดแทบไม่ได้เลย ส่วนมากจะใช้ในกรณีถังเก็บน้ำบนดาดฟ้า บ่อบำบัดน้ำเสีย

แบบที่ 3 ไม่มีฝา (Unsupported) เช่นสระว่ายน้ำ ทั้งบนดาดฟ้า ยกสูงพ้นดิน หรือฝังในดินบางส่วน หรือฝังในดินเกือบมิด เป็นชนิดนี้

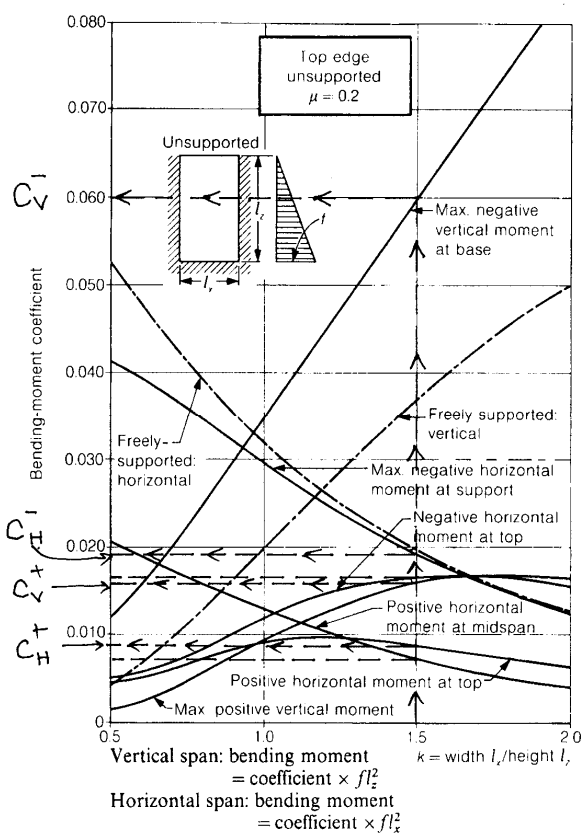
ผนัง W_2 ที่กำลังจะออกแบบนี้เป็นแบบที่ 3 แม้ว่าอาจจะมีฝาปิดแต่ไม่มีเหล็กเสียบผนังพับประสานกับเหล็กในฝาปิดจึงไม่เข้าข่ายแบบที่ 2

ความกว้างของผนัง (ด้านใน) $L_x = 3.00$ m

ความสูงของผนัง (ด้านใน) $L_z = 2.00$ m

อัตราส่วน $\frac{L_x}{L_z} = \frac{3.00}{2.00} = 1.5$ อยู่ระหว่าง 0.5 กับ 2 ปานกลาง

หาสัมประสิทธิ์แรงดัด C บนกราฟ Top edge unsupported $\mu = 0.2$ โดยกำหนดจุดบนแกนนอนตรงตำแหน่ง $\frac{L_x}{L_z} = 1.5$ ลากเส้นตั้งขึ้นไปตัดเส้นโค้งต่างๆ แล้วลากเส้นนอนไปตัดแกนตั้งแล้วอ่านค่า C บนแกนตั้ง



รูปที่ 13 การหาสัมประสิทธิ์แรงดัดของผนัง W_2

ค่าสัมประสิทธิ์แรงดัด C ที่หาได้จากรูปที่ 13 คือ

$C_v^- = 0.060 =$ Max. negative vertical moment at base เป็นสัมประสิทธิแรงดัดลบสูงสุดทางตั้งที่ก้นถัง

$C_H^- = 0.018 =$ Max. negative horizontal moment at support เป็นสัมประสิทธิ์แรงดัดลบสูงสุดทางนอนที่จุดรองรับ (ที่ผนัง W_1)

$C_v^+ = 0.016 =$ Max. positive vertical moment เป็นสัมประสิทธิ์ของแรงดัดบวกทางตั้งสูงสุด

$C_H^+ = 0.008 =$ Positive horizontal moment at top เป็นสัมประสิทธิ์ของแรงดัดบวกทางนอนที่ขอบบนของถัง

ขั้นตอนที่ 2 หาแรงดัด

$$M_v^- = C_v^- p_3 L_z^2 = 0.060 \times 2000 \times 2.00^2 = 480 \text{ kg.m} = 48{,}000 \text{ kg.cm}$$
$$M_v^+ = C_v^+ p_3 L_z^2 = 0.016 \times 2000 \times 2.00^2 = 128 \text{ kg.m} = 12{,}800 \text{ kg.cm}$$
$$M_H^- = C_H^- p_3 L_x^2 = 0.018 \times 2000 \times 3.00^2 = 324 \text{ kg.m} = 32{,}400 \text{ kg.cm}$$
$$M_H^+ = C_H^+ p_3 L_x^2 = 0.008 \times 2000 \times 3.00^2 = 144 \text{ kg.m} = 14{,}400 \text{ kg.cm}$$

แรงดัดสูงสุดคือ 480 kg.m = 48,000 kg.cm

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบความหนาของผนัง

เมื่อใช้วิธีหน่วยแรงใช้งาน

เมื่อ $f_c' = 250$ ksc

$$f_c = 0.375 f_c' = 0.375 \times 250 = 93.75 \text{ ksc} > 65 \text{ ksc}$$

ใช้ $f_c = 65$ ksc ตามกฎกระทรวงฯ ฉบับที่ 6

$f_y = 3000$ ksc

$$f_s = 0.5 f_y = 0.5 \times 3000 = 1500 \text{ ksc}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2{,}040{,}000}{15100\sqrt{f_c'}} = \frac{135.099}{\sqrt{f_c'}} = \frac{135.099}{\sqrt{250}} = 8.54$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} = \frac{1}{1 + \frac{1500}{8.54 \times 65}} = 0.27$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.27}{3} = 0.91$$

$$R = \frac{1}{2} f_c kj = \frac{1}{2} \times 65 \times 0.27 \times 0.91 = 7.985 \text{ ksc}$$

$$M_c = Rbd^2 = 7.985 \times 1.00 \times 24.9^2 = 4950.9 \text{ kg.m} > 480 \text{ kg.m O.K.}$$

แสดงว่าความหนา h = 30 cm เพียงพอในการรับแรงดัดแล้ว

เมื่อออกแบบวิธีกำลัง

หากจะออกแบบตามวิธีกำลัง ตัวคูณเพิ่มค่าของแรงดันเหมือนน้ำหนักบรรทุกจร คือ 1.7 แต่หากจะต้องยื่นขออนุญาตก่อสร้างในไทยต้องใช้ 2.0 สมมติว่าต้องขออนุญาต

$$M_u = 2.0M = 2.0\times 480\times 100 = 96{,}000 \ \text{kg.cm}$$

$f_c^{'} = 250 \ \text{ksc} < 280 \ \text{ksc}$ ดังนั้น $\beta_1 = 0.85$

$$f_y = 3000 \ \text{ksc}$$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\cdot\frac{6120}{6120+f_y} = 0.85\times\frac{0.85\times 250}{3000}\times\frac{6120}{6120+3000}$$

$$\rho_b = 0.04040296$$

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b = 0.03030222$$

สมมติให้ $\rho = \rho_{max} = 0.03030222$

$$R_u = \rho f_y\left(1-0.59\rho\frac{f_y}{f_c^{'}}\right)$$

$$R_u = 0.03030222\times 3000\times\left(1-0.03030222\times\frac{3000}{250}\right)$$

$$R_u = 57.85057667 \ \text{ksc}$$

$$\phi M_n = \phi R_u bd^2 = 0.9\times 57.85057667\times 100\times 24.9^2$$

$$\phi M_n = 3{,}228{,}114 \ \text{kg.cm} >> M_u = 96{,}000 \ \text{kg.cm} \ \text{O.K.}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาณเหล็กเสริม

พิจารณาผลของแรงดัด วิธีหน่วยแรงใช้งาน

$$A_{sv}^{-} = \frac{M_v^{-}}{f_s jd} = \frac{480\times 100}{1500\times 0.91\times 24.9} = 1.41 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sv}^{+} = \frac{M_v^{+}}{f_s jd} = \frac{128\times 100}{1500\times 0.91\times 24.9} = 0.38 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sH}^{-} = \frac{M_H^{-}}{f_s jd} = \frac{324\times 100}{1500\times 0.91\times 24.9} = 0.95 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sH}^{+} = \frac{M_H^{+}}{f_s jd} = \frac{144\times 100}{1500\times 0.91\times 24.9} = 0.42 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 0.0015bh = 0.0015\times 100\times 30 = 4.50 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

พิจารณาผลของแรงดัด วิธีกำลัง ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก 2.0 เหมือนน้ำหนักจร

$$R_u = \frac{M_v^{-}}{\phi bd^2} = \frac{2.0\times 480\times 100}{0.9\times 100\times 24.9^2} = 1.720402359 \ \text{ksc}$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85\times 250}{3000}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times 1.720402359}{0.85\times 250}}\right]$$

$$\rho = 0.000575807$$

$$A_{sv}^{-} = \rho bd = 0.000575807\times 100\times 24.9 = 1.4338 \ \ cm^2/m$$

$$1.33A_{sv}^{-} = 1.907 \ \ cm^2/m$$

$$R_u = \frac{M_v^{+}}{\phi bd^2} = \frac{2.0\times 128\times 100}{0.9\times 100\times 24.9^2} = 0.458773962 \ \ ksc$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85\times 250}{3000}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times 0.458773962}{0.85\times 250}}\right]$$

$$\rho = 0.00015309$$

$$A_{sv}^{+} = \rho bd = 0.00015309\times 100\times 24.9 = 0.3812 \ \ cm^2/m$$

$$1.33A_{sv}^{+} = 0.507 \ \ cm^2/m$$

$$R_u = \frac{M_H^{-}}{\phi bd^2} = \frac{2.0\times 324\times 100}{0.9\times 100\times 24.9^2} = 1.161271592 \ \ ksc$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85\times 250}{3000}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times 1.161271592}{0.85\times 250}}\right]$$

$$\rho = 0.000388154$$

$$A_{sH}^{-} = \rho bd = 0.000388154\times 100\times 24.9 = 0.9665 \ \ cm^2/m$$

$$1.33A_{sH}^{-} = 1.2855 \ \ cm^2/m$$

$$R_u = \frac{M_H^{+}}{\phi bd^2} = \frac{2.0\times 144\times 100}{0.9\times 100\times 24.9^2} = 0.516120707 \ \ ksc$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85\times 250}{3000}\times\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times 0.516120707}{0.85\times 250}}\right]$$

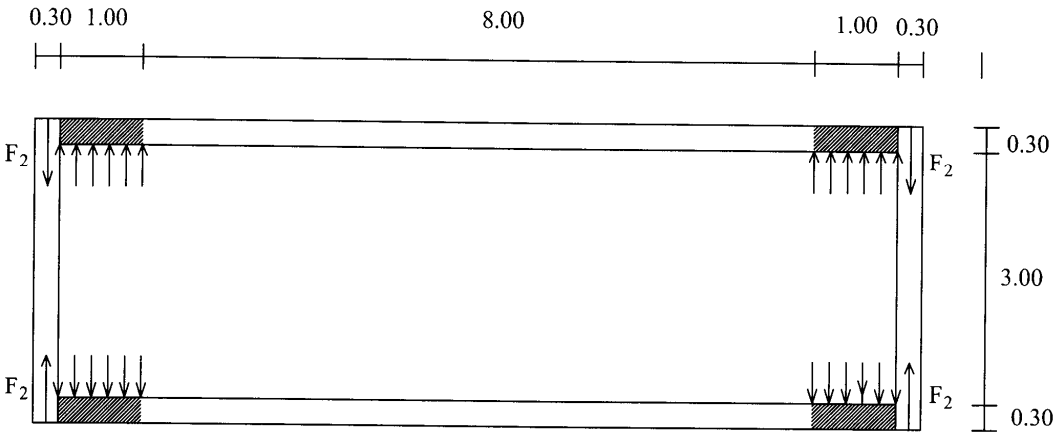
$$\rho = 0.000172249$$

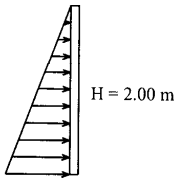
$$A_{sH}^{+} = \rho bd = 0.000172249\times 100\times 24.9 = 0.4289 \ \ cm^2/m$$

$$1.33A_{sH}^{+} = 0.5704 \ \ cm^2/m$$

พิจารณาผลจากแรงดึง

ผนัง W_2 เป็นด้านแคบ การเกิดแรงดึงจาก W_1 จะอยู่ในช่วง 1.00 เมตร จากผนัง W_2 เท่านั้น ส่วนกลางๆ ของ W_1 นั้นจะรับโดยพื้นถัง





$$p = \gamma_w H$$

รูปที่ 14 แรงดึงจากผนัง W_1 กระทำต่อผนัง W_2

$$F_2 = \frac{0+\gamma_w H}{2} \times (1.00 \times H) = \frac{\gamma_w H^2}{2} = \frac{1000 \times 2.00^2}{2} = 2000 \ \text{kg}$$

$$A_{st} = \frac{F_2}{f_{st}} = \frac{2000}{1300} = 1.54 \ \text{cm}^2/2 \ \text{sides}$$

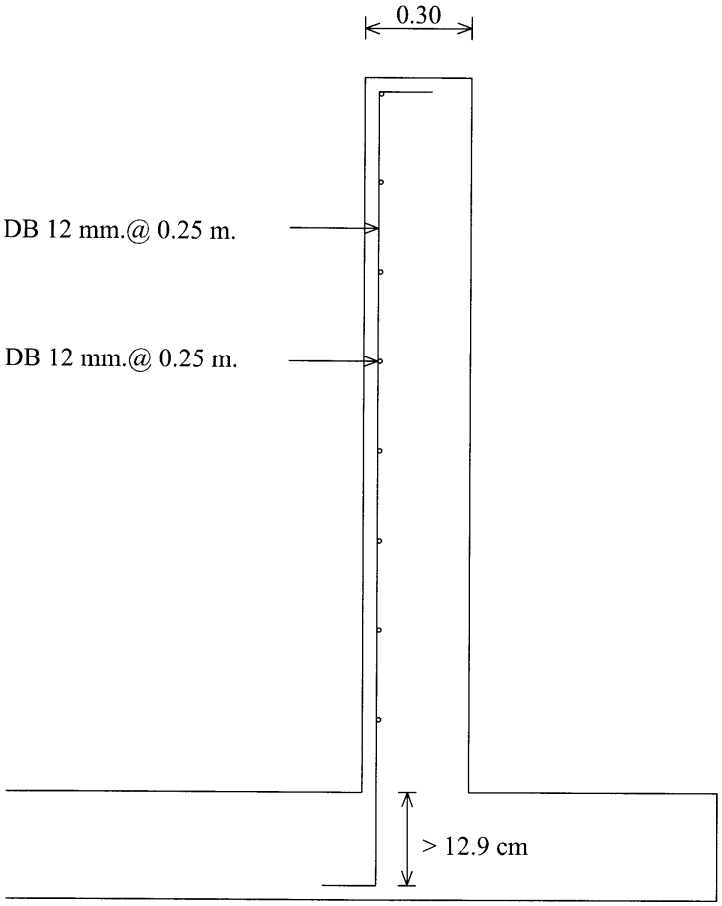
เหล็กทางนอนสูงสุดจากผลของแรงดัด 0.95 cm^2/m รวมกับผลของแรงดึงด้านเดียว

$$\text{เหล็กทางนอน} = 0.95 + \frac{1.54}{2} = 1.72 \ \text{cm}^2/\text{m} < A_{s,min}$$

ใช้ # DB 12 mm.@ 0.25 m.

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบเสถียรภาพการลอยตัว ยังไม่ทำในตอนนี้

ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียดการเสริมเหล็ก



รูปที่ 15 แสดงการเสริมเหล็กผิวในผนัง W_2

กรณีในถังไม่มีน้ำ ด้านนอกมีดินชุ่มน้ำดันอยู่

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบชนิดของผนัง เคยตรวจสอบแล้วเป็นชนิด (ข) แผ่นพื้นสองทาง

ขั้นตอนที่ 2 หาแรงดัด

ความดันรวม $p = p_1 + p_2 + p_3$

$$p = 490.3 + 1176.72 + 2000 = 3667.02 \ \ kg/m^2$$

$$M_v^- = C_v^- p_3 L_z^2 = 0.060 \times 3667.02 \times 2.00^2 = 880.08 \ \ kg.m = 88{,}008 \ \ kg.cm$$

$$M_v^+ = C_v^+ p_3 L_z^2 = 0.016 \times 3667.02 \times 2.00^2 = 234.69 \ \ kg.m = 23{,}469 \ \ kg.cm$$

$$M_H^- = C_H^- p_3 L_x^2 = 0.018 \times 3667.02 \times 3.00^2 = 594.06 \ \ kg.m = 59{,}406 \ \ kg.cm$$

$$M_H^+ = C_H^+ p_3 L_x^2 = 0.008 \times 3667.02 \times 3.00^2 = 264.03 \ \ kg.m = 26{,}403 \ \ kg.cm$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบความหนาของผนัง

ผนังหนา h = 30 cm., d = 24.9 cm

$$M_c = Rbd^2 = 7.985 \times 100 \times 24.9^2 = 495{,}078 \ \ kg.cm >> M_{max} = 88{,}008 \ kg.m$$

แสดงว่าความหนา 30 cm เพียงพอรับแรงดัดได้

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาณเหล็กเสริม

เมื่อใช้วิธีหน่วยแรงใช้งาน พิจารณาจากแรงดัดสูงสุด

$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{88{,}008}{1500 \times 0.91 \times 24.9} = 2.59 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 0.0015bh = 0.0015 \times 100 \times 30 = 4.50 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

ใช้ #-DB 12 mm.@ 0.25 m.

เมื่อใช้วิธีกำลัง พิจารณาจากแรงดัดสูงสุด

$$R_u = \frac{M}{\phi bd^2} = \frac{2.0 \times 88{,}008}{0.9 \times 100 \times 24.9^2} = 3.154357725 \ \text{ksc}$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85 \times 250}{3000} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3.154357725}{0.85 \times 250}}\right]$$

$$\rho = 0.0001059374$$

$$A_{sH}^{+} = \rho bd = 0.0001059374 \times 100 \times 24.9 = 2.638 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$1.33A_{sH}^{+} = 3.508 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

ใช้ #-DB 12 mm.@ 0.25 m.

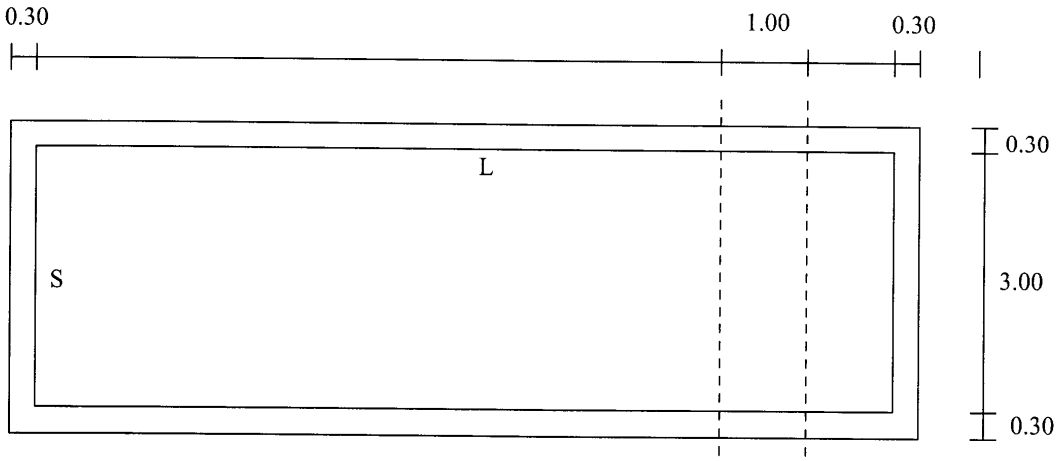
ออกแบบพื้นบ่อ

พื้นบ่อที่อยู่ภายในจะเหมือนกับแผ่นพื้นสองทาง

$m = \frac{S}{L} = \frac{3.00}{10.00} = 0.3 < 0.5$ แสดงว่าเป็นแผ่นพื้นทางเดียว ตัดขนานขอบสั้นกว้าง 1.00 เหมือนเป็นคานแบน

ความหนา $h \geq \frac{L}{20}\left(0.4 + \frac{f_y}{7000}\right) = \frac{3.00}{20}\left(0.4 + \frac{3000}{7000}\right) = 0.124 \ \text{m}$

ให้ความหนาของแผ่นพื้นท้องถัง $h = 30$ cm ความหนาประสิทธิผล d = 24.9 cm เพราะคาดว่าจะใช้เหล็กเสริมเป็น DB 12 mm.



รูปที่ 16 การตัดพื้นบ่อขนานขอบสั้นเป็นพื้นทางเดียวกว้าง 1.00 เมตร

หาน้ำหนักและแรงของชิ้นส่วน

พื้นถัง กว้าง 1.00 เมตร หนา 0.30 เมตร ยาว 3.00+0.30+0.30+0.70+0.70 = 5.00 เมตร มีปริมาตร

$$V = 1.00 \times 0.30 \times 5.00 = 1.5 \ \ m^3$$

น้ำหนักพื้นถัง $= 2.4 \times 1.5 = 3.6 \ \ \text{tonne} = \dfrac{3.6}{5.00} = 0.72 \ \ \text{tonne/m}$

ผนัง มี 2 ข้าง แต่ละข้างกว้าง 1.00 เมตร หนา 0.30 เมตร ยาว 2.00 เมตร มีปริมาตร

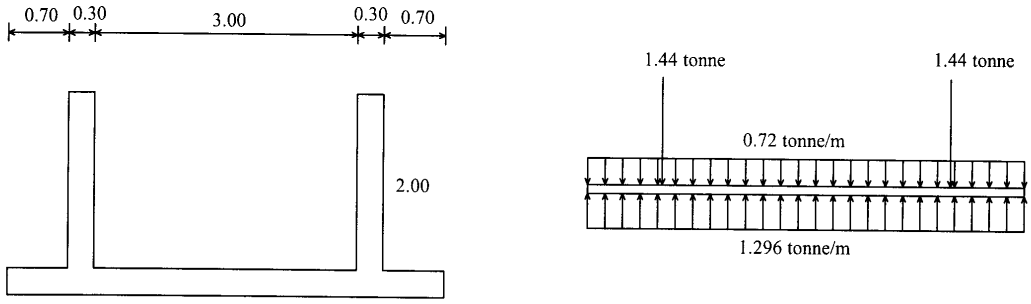
$$V = 2 \times 1.00 \times 0.30 \times 2.00 = 1.2 \ \ m^3$$

น้ำหนักผนัง $= 2.4 \times 1.2 = 2.88 \ \ \text{tonne} = \dfrac{2.88}{2} = 1.44 \ \ \text{tonne/side}$

น้ำในถังมีปริมาตร $V = 1.00 \times 3.00 \div 2.00 = 6 \ \ m^3$

น้ำหนักน้ำในถัง $= 1.000 \times 6 = 6 \ \ \text{tonne}$

กรณีที่ 1 ก่อสร้างเสร็จยังไม่ใส่น้ำ ยังไม่ถมดิน



รูปที่ 16 ถังก่อสร้างเสร็จยังไม่ใส่น้ำ ยังไม่ถมดิน

แรงต้านของดิน $= \frac{2.88+3.6}{5.00} = 1.296 \ \text{tonne/m}$

แรงต้านลัพธ์ $= 1.296 - 0.72 = 0.576 \ \text{tonne/m}$ ชี้ขึ้น

กลางถัง $M = \frac{wL^2}{8} = \frac{0.576\times(3.00+0.30)^2}{8} = 0.784 \ \text{tonne.m}$

ที่กลางผนัง $M = \frac{wL^2}{2} = \frac{0.576\times\left(0.70+\frac{0.30}{2}\right)^2}{2} = 0.208 \ \text{tonne.m}$

$M_c = Rbd^2 = 7.985\times1.00\times24.9^2 = 4950.78 \ \text{kg.m} >> 784 \ \text{kg.m}$ O.K.

$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{78{,}400}{1500\times0.91\times24.9} = 2.31 \ \text{cm}^2/\text{m}$

$A_{s,min} = 0.0015bh = 0.0015\times100\times30 = 4.50 \ \text{cm}^2/\text{m}$

ใช้ #-DB 12 mm.@ 0.25 ทั้งสองชั้น

กรณีที่ 2 ก่อสร้างเสร็จ ใส่น้ำทดสอบการรั่ว ไม่ถมดิน

แรงต้านของดิน $= \frac{2.88+3.6+6}{5.00} = 2.496 \ \text{tonne/m}$

บริเวณขอบนอกมีแรงยกขึ้น $= 2.496 - 0.72 = 1.776 \ \text{tonne/m}$

บริเวณกลางถังมีแรงยกขึ้น $= 2.496 - 0.72 - \frac{6}{3.00} = -0.224 \ \text{tonne/m}$

แสดงว่าบริเวณกลางถังเป็นแรงกดลง

กลางถัง $M = \frac{wL^2}{8} = \frac{0.224\times(3.00+0.30)^2}{8} = 0.305 \ \text{tonne.m}$

ที่กลางผนัง $M = \frac{wL^2}{2} = \frac{1.776\times\left(0.70+\frac{0.30}{2}\right)^2}{2} = 0.64158 \ \text{tonne.m}$

$M_c = Rbd^2 = 7.985\times1.00\times24.9^2 = 4950.78 \ \text{kg.m} >> M_{max} = 642$

ตรวจสอบเสถียรภาพการลอยตัว

กรณีที่ 1 สร้างเสร็จถมดินไม่ใส่น้ำ ดินข้างนอกชุ่มน้ำเต็มที่

พื้นถัง หนา 0.30 เมตร กว้าง 3.00 + 0.30 + 0.30 + 0.70 + 0.70 = 5.00 เมตร ยาว 10.00 + 0.30 + 0.30 + 0.70 + 0.70 = 12.00 เมตร

ปริมาตรคอนกรีตพื้นถัง $V = 0.30 \times 5.00 \times 12.00 = 18 \ \text{m}^3$

น้ำหนักพื้นถัง $= 2.4 \times 18 = 43.2 \ \text{tonne}$

ผนัง หนา 0.30 เมตร สูง 2.00 เมตร ยาว $= 2 \times \left(3.00 + \frac{0.30}{2} + \frac{0.30}{2} \right) +$ $2 \times \left(10.00 + \frac{0.30}{2} + \frac{0.30}{2} \right) = 27.2$ เมตร

ปริมาตรคอนกรีตผนัง $V = 0.30 \times 2.00 \times 27.2 = 16.32 \ \text{m}^3$

น้ำหนักผนัง $= 2.4 \times 16.32 = 39.168 \ \text{tonne}$

ดินถมรอบนอก กว้าง 0.70 เมตร สูง 2.00 เมตร โดยมีความยาวที่ตัดทางกว้างก่อนสองด้าน เหล็กทางยาวสองด้าน $= 5.00 + 5.00 + 2 \times (12 - 0.7 - 0.7) = 31.2 \ \text{m}$

ปริมาตรดินถม $V = 0.70 \times 2.00 \times 31.2 = 43.68 \ \text{m}^3$

น้ำหนักดินถม $= 2.2 \times 43.68 = 96.096 \ \text{tonne}$

น้ำหนักรวม $= 43.2 + 39.168 + 96.096 = 178.464 \ \text{tonne}$

ปริมาตรที่แทนที่น้ำในดิน คิดถึงขอบของพื้นท้องถังและส่วนดินถมเหนือขอบท้องถังด้วย กว้าง 5.00 เมตร ยาว 12.00 เมตร ลึก 2.00 + 0.30 = 2.30 เมตร

ปริมาตรแทนที่น้ำ $5.00 \times 12.00 \times 2.30 = 138 \ \text{m}^3$

น้ำมีหน่วยน้ำหนัก $\gamma_w = 1000 \ \text{kg/m}^3 = 1 \ \text{tonne/m}^3$

แรงลอยตัว = น้ำหนักน้ำที่ถูกแทนที่ (กฎของอาร์คีมีดีส)

แรงลอยตัว $= 1 \times 138 \ \text{tonne}$

แรงที่กดลงมากกว่าแรงลอยตัว แสดงว่าขณะที่ถังไม่มีน้ำถมดินรอบนอกหมดแล้ว ถังจะไม่ลอยขึ้น ส่วนปลอดภัยการลอยตัว

$$\text{Factor of safety (F.S.)} = \frac{178.464}{138} = 1.29 > 1.1 \ \text{O.K.}$$

กรณีที่ 2 สร้างเสร็จยังไม่ถมดิน ยังไม่ใส่น้ำ เกิดน้ำท่วมรอบนอกถัง

น้ำหนักกดลง = พื้นถัง + ผนัง $= 43.2 + 39.168 = 82.368$ tonne

เมื่อน้ำแห้ง

แรงต้านของดินใต้พื้นถัง $= \dfrac{82.368}{5.00 \times 12.00} = 1.3728$ tonne/m^2

ปริมาตรแทนที่น้ำ = ปริมาตรพื้น + ปริมาตรรอบนอกผนัง

ปริมาตรแทนที่น้ำ $= 18 + 3.60 \times 10.60 \times 2.00 = 94.32$ m^3

แรงลอยตัว $= 1.000 \times 94.32 = 94.32$ tonne > 82.368 tonne

กรณีนี้หากเกิดน้ำท่วมและในถังไม่มีน้ำ ถังจะลอยขึ้นแบบเรือ แก้ไขได้โดยในระหว่างนั้นใส่น้ำเข้าไปในถัง

กรณีที่ 3 ก่อสร้างเสร็จ ยังไม่ถมดิน ใส่น้ำเต็มถัง

ปริมาตรน้ำในถัง $= 3.00 \times 2.00 \times 10.00 = 60$ m^3

น้ำหนักน้ำในถัง $= 1.000 \times 60 = 60$ tonne

น้ำหนักกดลง $= 43.2 + 39.168 + 60 = 142.368$ tonne

น้ำข้างนอกแห้งไม่มีแรงลอยตัว หาแรงต้านดินใต้พื้นถัง

แรงต้านดินใต้พื้นถัง $= \dfrac{142.368}{5.00 \times 12.00} = 2.3728$ t/m^2

ข้างนอกมีน้ำท่วม แรงลอยตัว = 82.368 tonne < 142.368 tonne จึงไม่เกิดการลอย

กรณีที่ 4 ก่อสร้างเสร็จ ไม่มีน้ำในถัง ถมดินโดยรอบ ดินรอบนอกแห้ง

น้ำหนักดินถม $= 1.9 \times 43.68 = 82.992$ tonne

แรงกดลง $= 43.2 + 39.168 + 82.992 = 165.36$ tonne

แรงต้านของดินใต้พื้นถัง $= \dfrac{165.36}{5.00 \times 12.00} = 2.756$ tonne/m^2

กรณีนี้ข้างนอกดินแห้ง ไม่มีแรงลอยตัว

กรณีที่ 5 ก่อสร้างเสร็จ ถมดินโดยรอบน้ำชุ่ม ภายในไม่มีน้ำบรรจุอยู่

แรงกดลง $= 43.2 + 39.168 + 96.096 = 178.464$ tonne

แรงต้านดินใต้พื้นถัง $= \dfrac{178.464}{5.00 \times 12.00} = 2.97$ tonne/m^2

แรงลอยตัว $= 138$ tonne < 178.464 tonne ไม่เกิดการลอยตัว

กรณีที่ 6 ก่อสร้างเสร็จ ถมดินรอบนอกแล้วและดินแห้ง ภายในบรรจุน้ำเต็ม

แรงกดลง $= 43.2 + 39.168 + 82.992 + 60 = 225.36$ tonne

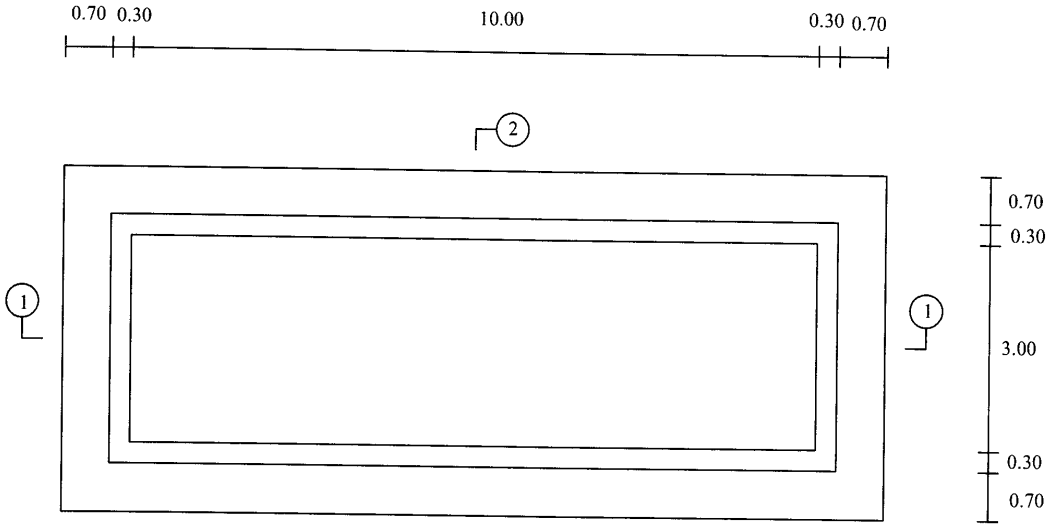
แรงต้านดินใต้พื้นถัง $= \dfrac{225.36}{5.00 \times 12.00} = 3.756 \ \text{tonne}/\text{m}^2$

ไม่มีแรงลอยตัว

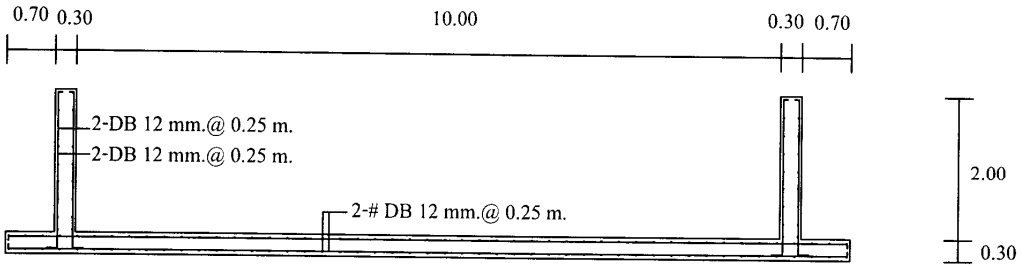
แรงต้านดินใต้พื้นถังสูงสุด $3.756 \ \text{tonne}/\text{m}^2$ หากเป็นดินแข็งก็ควรให้รับได้สูงสุด 2.5 เท่าคือ $Q_u = 2.5 \times 3.7569.39 \ \text{tonne}/\text{m}^2$ แต่ถ้ามีเสาเข็มด้วยต้องพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป ดังจะกล่าวในภายหลัง

กรณีที่อันตรายที่สุดคือ ก่อสร้างเสร็จยังไม่ถมดิน ไม่ใส่น้ำในถังไว้ แล้วเกิดน้ำท่วม ถังจะลอยขึ้น หากมีเหตุเกิดขึ้นแล้วให้พยายามแก้ไขโดยจัดตำแหน่งของถังให้อยู่ในแนวที่กำหนดผังในสัญญา จากนั้นสูบน้ำเข้าถังไม่ต้องเต็ม ใส่พอให้ถังจม คอยปรับระดับเอาไว้ หากมีก้อนหินหลุดเข้าไปหนุนใต้ถังให้สูบน้ำออกจากถังจนลอยแล้วเอาหินออก สูบน้ำเข้าถังให้จม

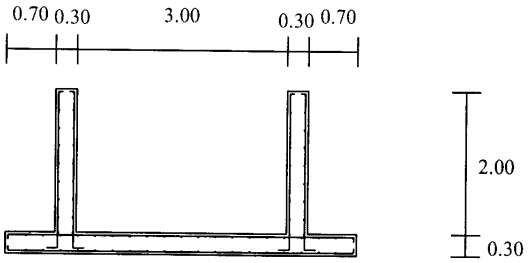
เขียนรายละเอียดการเสริมเหล็ก



PLAN



SECTION ①-①



SECTION ②-②

กรณีเป็นถังบำบัดน้ำเสีย

สิ่งปฏิกูลในถังมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 1.1 – 1.5 t/m^3 ค่าที่แนะนำคือ 1.38 t/m^3 หากมีฝาปิดธรรมดาให้เลือกใช้ Freely supported ที่ขอบบน แต่ถ้าบนฝาถังเป็นพื้นจอดรถด้วยให้ Fixed ที่ฝาถัง

กรณีถังวางบนเสาเข็ม

ถังน้ำที่ออกแบบนี้มีน้ำหนักรวมดินถมและน้ำในถังเต็มนั้น 225.36 tonne

เมื่อเลือกใช้เสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง ความยาว 6.00 เมตร รับน้ำหนักปลอดภัยไม่เกิน 1.8 ตัน/ต้น หาจำนวนเสาเข็มที่ต้องการ

$$\text{จำนวนเสาเข็ม} = \frac{225.36}{1.8} = 125.2 \Rightarrow 126 \text{ ต้น}$$

ศูนย์กลางเสาเข็มห่างขอบ = ขนาดหน้าตัดเสาเข็ม = 0.15 m

ศูนย์กลางเสาเข็มห่างกัน = 3 เท่าขนาดหน้าตัดเสาเข็ม = $3 \times 0.15 = 0.45$ m

$$\text{ด้านกว้างจัดได้} = 1 + \frac{5.00 - 0.15 - 0.15}{0.45} = 11 \text{ แถว}$$

ด้านยาวจัดได้ $= 1 + \dfrac{10.00 - 0.15 - 0.15}{0.45} = 27$ แถว

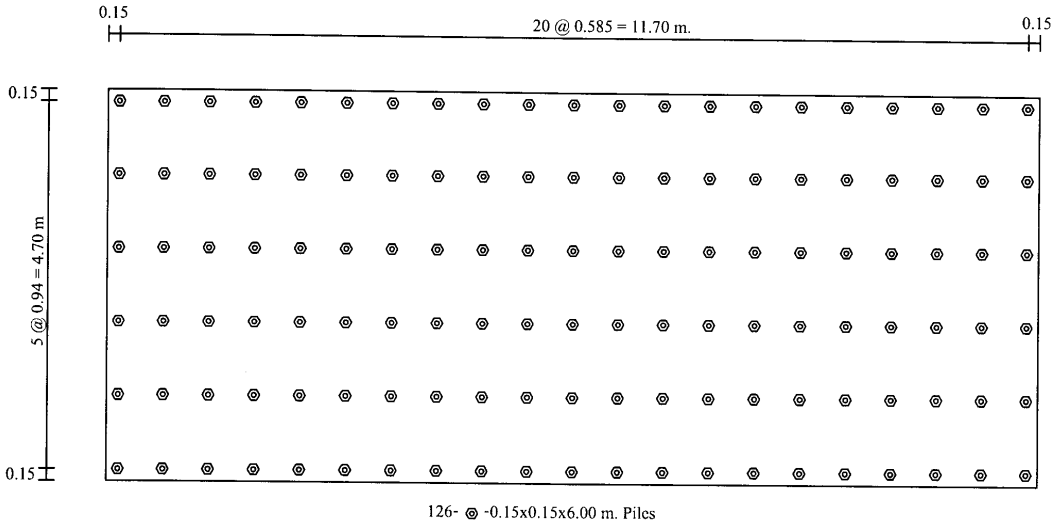
จำนวนต้นจัดได้สูงสุด $= 11 \times 27 = 297$ ต้น

ด้านกว้างจัด 6 แถว ระยะระหว่างแถว $= \dfrac{5.00 - 0.15 - 0.15}{6 - 1} = 0.94$ m

ด้านยาวจัด 21 แถว ระยะระหว่างแถว $= \dfrac{12.00 - 0.15 - 0.15}{21 - 1} = 0.585$ m

จำนวนเสาเข็ม $= 6 \times 21 = 126$ ต้น พอดี

เขียนแปลนจัดผังฐานราก



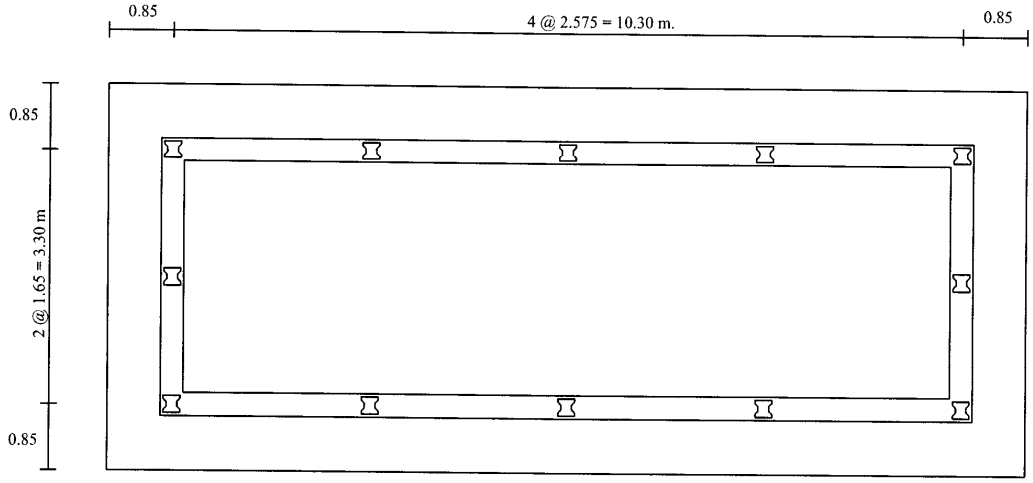
รูปที่ 19 แปลนเสาเข็มหกเหลี่ยมกลวงรองรับถังน้ำ

เมื่อให้ถังน้ำวางบนเสาเข็ม $I - 0.22 \times 0.22 \times 21.00$ m กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มต้นละ 20 ตัน

จำนวนเสาเข็มที่ต้องการ $= \dfrac{225.36}{20} = 11.3 \Rightarrow 12$ ต้น

จัดวางเสาเข็มตามแนวของผนัง ใช้ที่มุมไป 4 ต้น วางกึ่งกลางด้านแคบไปอีก 2 ต้น เหลือเสาเข็มอีก 12 – 4 – 2 = 6 ต้น แบ่งครึ่งได้ 3 ต้นใส่ที่ผนังด้านยาวไปด้านละ 3 ต้น ดังรูปที่ 20

จากรูปที่ 20 เสาเข็มมีความยาวมากถึง 21 เมตรสามารถจิกลึกถึงชั้นทรายทำให้ทรุดตัวช้ามากหากเทียบกับดินโดยรอบ สภาพที่ขณะนั้นมีน้ำเต็มถัง ดินใต้ถังทรุดไปจนถังเทินอยู่บนเสาเข็มเท่านั้น ท้องของถังน้ำจะรับแรงดันขนาด $\gamma_w H = 1000 \times 2.00 = 2000$ kg/m^2 ดังนั้นต้องออกแบบพื้นถังใหม่



รูปที่ 20 ถังน้ำบนเสาเข็มยาวจัดวางตามแนวผนัง

$$w = \gamma_w H + 2400h = 1000 \times 2.00 + 2400 \times 0.30 = 2720 \ \ kg/m^2$$

$$L = 3.00 + \frac{0.30}{2} + \frac{0.30}{2} = 3.30 \ \ m$$

$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{2720 \times 3.30^2}{8} = 3702.6 \ \ kg.m$$

$$M_c = Rbd^2 = 7.985 \times 1.00 \times 24.7^2 = 4871.57 \ \ kg.m > M = 3702.6 \ \ kg.m$$

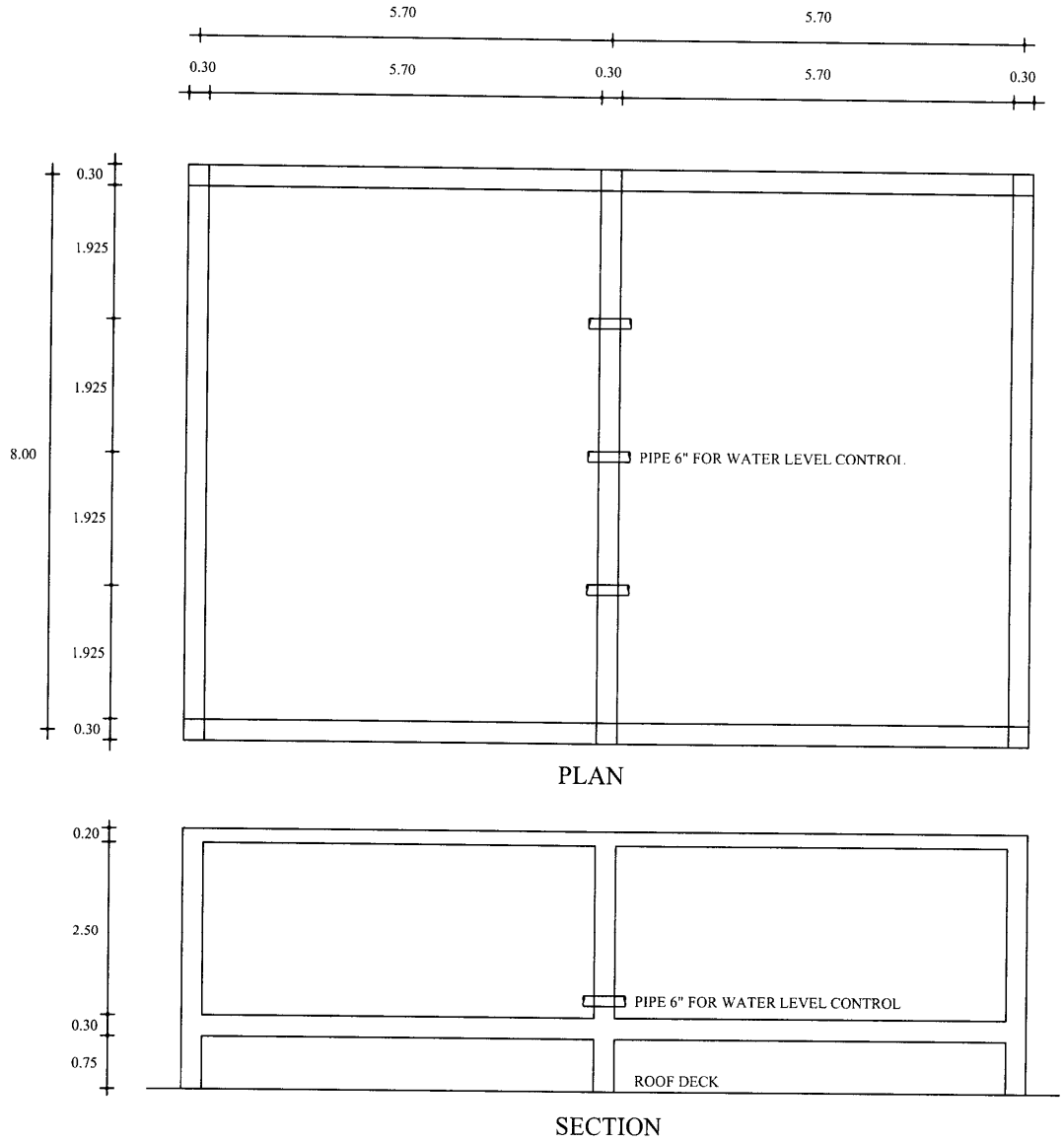
$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{3702.6 \times 100}{1500 \times 0.91 \times 24.7} = 10.982 \ \ cm^2/m$$

เหล็ก DB 16 mm. มีระยะเรียง

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{2.01}{10.982} = 0.183 \ \ m$$

ใช้ #-DB 16 mm.@ 0.175 m.

ตัวอย่างที่ 2 จงออกแบบถังน้ำบนดาดฟ้า ขนาดภายในกว้าง 7.70 เมตร ยาว 11.70 เมตร สูง 2.50 เมตร โดยมีผนังแบ่งครึ่งด้านยาว ตั้งบนเสาขนาด $0.30 \times 0.30 \ m^2$ จำนวน 6 ต้น กำหนด $f_c' = 240$ ksc และ $f_y = 3000$ ksc ให้ออกแบบตามกฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 6



รูปที่ 21 ถังเก็บน้ำบนดาดฟ้า

การที่ออกแบบให้พื้นถังเก็บน้ำสูงจากพื้นดาดฟ้าขึ้นมาอีกประมาณ 0.75 เมตร นั้น เพื่อประโยชน์ในการซ่อมถังที่รั่ว และระหว่างที่น้ำรั่วจากถังจะมีสภาพคล้ายฝนตกบนดาดฟ้า ที่จะรั่วลงห้องใต้ดาดฟ้ายากขึ้น หากให้ท้องถังเก็บน้ำดาดฟ้าเป็นตัวเดียวกับพื้นดาดฟ้า หากถังรั่วจะมีความดันสูงและรั่วลงห้องใต้ดาดฟ้า แก้ไขยาก

วิธีทำ

$f_c' = 240 \ \text{ksc} < 280 \ \text{ksc}$

$\beta_1 = 0.85$

$f_y = 3000 \ \text{ksc}$

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0.85f_c'}{f_y} \cdot \frac{6120}{6120 + f_y}$$

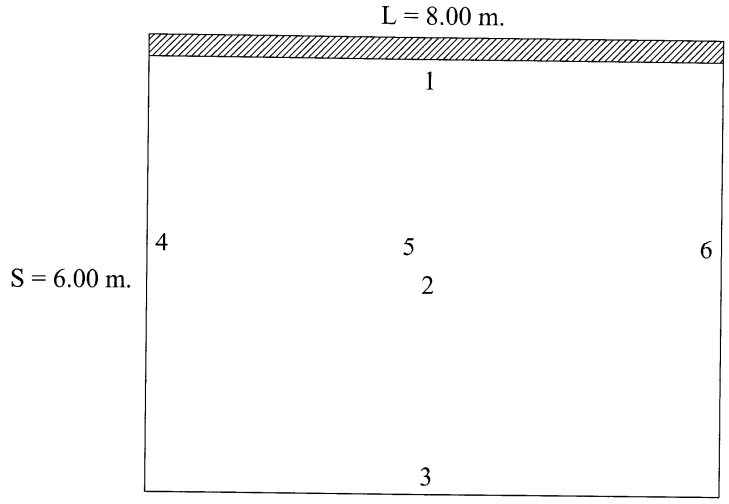
$$\rho_b = 0.85 \times \frac{0.85 \times 240}{3000} \times \frac{6120}{6120 + 3000}$$

$$\rho_b = 0.038786842$$

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b = 0.029090131$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} = \frac{14}{3000} = 0.00467$$

ออกแบบฝาถังเป็นพื้นหล่อในที่ฝากบนผนังแทนคาน



รูปที่ 22 แปลนฝาถังและพื้นถังเก็บน้ำบนดาดฟ้า แสดงความต่อเนื่อง

$$m = \frac{S}{L} = \frac{6.00}{8.00} = 0.75 > 0.5$$ อยู่ระหว่าง 0.7 กับ 0.8 เป็นแผ่นพื้นสองทาง

$$C_1 = \frac{0.074 + 0.082}{2} = 0.078$$

$$C_2 = \frac{0.056 + 0.062}{2} = 0.059$$

$$C_3 = \frac{0.037 + 0.047}{2} = 0.042$$

$$C_S = 0.078$$

$$C_4 = 0.029 = C_6$$

$$C_5 = 0.044$$

$$C_L = 0.044$$

ประมาณน้ำหนักบรรทุกจรบนฝาถัง $w_L = 300\ kg/m^2$

$$h \geq \frac{S + L}{90} = \frac{6.00 + 8.00}{90} = 0.16\ m$$

ใช้ฝาถังหนา 0.20 m

$$w_D = 2400 \times 0.20 = 480 \ \ kg/m^2$$

$$w_u = 1.7w_D + 2.0w_L = 1.7 \times 480 + 2.0 \times 300 = 1416 \ \ kg/m^2$$

$$M_u = M_s = C_s w_u S^2 = 0.078 \times 1416 \times 6.00^2 = 3976.128 \ \ kg.m$$

$$d = 20 - 2.5 - \frac{1.2}{2} = 16.9 \ \ cm$$ สมมติระยะหุ้ม 2.5 cm และเหล็ก DB 12 mm.

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{3976.128 \times 100}{0.9 \times 100 \times 16.9^2} = 15.46836595 \ \ ksc$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85 \times 240}{3000}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.46836595}{0.85 \times 240}}\right]$$

$$\rho = 0.005368 < \rho_{max} = 0.029 \ \ O.K.$$

$$A_s = \rho bd = 0.005368 \times 100 \times 16.9 = 9.07 \ \ cm^2/m$$

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{1.131}{9.07} = 0.125 \ \ m$$

DB 12 mm.@ 0.125 m

$$M_u = M_L = C_L w_u S^2 = 0.044 \times 1416 \times 6.00^2 = 2242.944 \ \ kg.m$$

$$d = 20 - 2.5 - 1.2 - \frac{1.2}{2} = 15.7 \ \ cm$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{224{,}294.4}{0.9 \times 100 \times 15.7^2} = 10.11059272 \ \ ksc$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85 \times 240}{3000}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.11059272}{0.85 \times 240}}\right]$$

$$\rho = 0.003458128$$

$$A_s = \rho bd = 0.003458128 \times 100 \times 15.7 = 5.429 \ \ cm^2$$

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{1.131}{5.429} = 0.208 \ \ m$$

ถ้าเปลี่ยนเป็นเหล็ก DB 16 mm.

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{2.01}{9.07} = 0.221 \ \ m$$

อาจจะใช้ 2-# DB 12 mm.@ 0.125 m หรือ 2-# DB 16 mm.@ 0.20 m. ในที่นี้เลือกที่จะใช้ 2-# DB 16 mm.@ 0.175 m.

ออกแบบพื้นถัง

ประมาณความหนา 0.30 เมตร และเลือกใช้เหล็กข้ออ้อย DB 25 mm.

$$d_s = 30 - 2.5 - \frac{2.5}{2} = 26.25 \ \text{cm}$$

$$d_L = 30 - 2.5 - 2.5 - \frac{2.5}{2} = 23.75 \ \text{cm}$$

$$w_D = 2400 \times 0.30 = 720 \ \text{kg/m}^2$$

$$w_L = \gamma_w H = 1000 \times 2.50 = 2500 \ \text{kg/m}^2$$

$$w_u = 1.7w_D + 2.0w_L = 1.7 \times 720 + 2.0 \times 2500 = 6224 \ \text{kg/m}^2$$

$$M_u = M_S = C_S w_u S^2 = 0.078 \times 6224 \times 6.00^2 = 17,476.992 \ \text{kg.m}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{17,476.992 \times 100}{0.9 \times 100 \times 26.25^2} = 28.18159456 \ \text{ksc}$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85 \times 240}{3000}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 28.18159456}{0.85 \times 240}}\right]$$

$$\rho = 0.010151625 < \rho_{max}$$

$$A_s = \rho bd = 0.010151625 \times 100 \times 26.25 = 26.648 \ \text{cm}^2/$$

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{4.909}{26.648} = 0.184 \ \text{m}$$

$$M_u = M_L = C_L w_u S^2 = 0.044 \times 6224 \times 6.00^2 = 9,858.816 \ \text{kg.m}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{9,858.816 \times 100}{0.9 \times 100 \times 23.75^2} = 19.42025928 \ \text{ksc}$$

$$\rho = \frac{0.85f_c^{'}}{f_y}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f_c^{'}}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85 \times 240}{3000}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.42025928}{0.85 \times 240}}\right]$$

$$\rho = 0.006814912 < \rho_{max}$$

$$A_s = \rho bd = 0.006814912 \times 100 \times 23.75 = 16.185 \ \text{cm}^2/\text{m}$$

$$s = \frac{A_{s1}}{A_s} = \frac{4.909}{16.185} = 0.303 \ \text{m}$$

ใช้ 2-# DB 25 mm.@ 0.175 m.

ออกแบบผนัง ผนังแนวกลางจะเป็นคานลึกและรับน้ำหนักมากที่สุด

$$w_L = \frac{wS}{3}\cdot\frac{3-m^2}{2}$$

น้ำหนักจากพื้นขอบยาวมาจากพื้นสองข้างของผนังกลาง

ฝาถัง $w_L = 2\times\frac{1,416\times 6.00}{3}\times\frac{3-0.75^2}{2} = 6,903 \ \ kg/m$

พื้นถัง $w_L = 2\times\frac{6,224\times 6.00}{3}\times\frac{3-0.75^2}{2} = 30,342 \ \ kg/m$

สมมติผนังหนา 0.30 เมตร ลึก = 2.50 + 0.20 + 0.30 = 3.00 m

น้ำหนักผนัง $w_G = 2400\times 0.30\times 3.00 = 2,160 \ \ kg/m$

$$w_u = 1.7w_G + w_u = 1.7\times 2,160 + 6,903 + 30,342 = 40,917 \ \ kg/m$$

$$L_n = 8.00 - \frac{0.30}{2} - \frac{0.30}{2} = 7.70 \ \ m \ \text{ระยะขอบในของที่รองรับ}$$

$$d \approx 0.95h = 0.95\times 3.00 = 2.85 \ \ m \ \text{ประมาณความลึกประสิทธิผล}$$

แรงปฏิกิริยาของเสา $V_1 = \frac{w_u L}{2} = \frac{40,917\times 8.00}{2} = 163,668 \ \ kg$

ตรวจสอบการเป็นคานลึก คานนี้มีเฉพาะน้ำหนักแผ่

$$\frac{L_n}{d} = \frac{7.70}{2.85} = 2.7 < 5$$

แสดงว่าผนังนี้เป็นคานลึก

$$M_u = \frac{w_u L^2}{8} = \frac{40,917\times 8.00^2}{8} = 327,336 \ \ kg.m$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd_2} = \frac{327,336\times 100}{0.85\times 30\times 285^2} = 4.741165608 \ \ ksc$$

$$\rho = \frac{0.85f_c'}{f_y}\left[1-\sqrt{1-\frac{2R_u}{0.85f_c'}}\right]$$

$$\rho = \frac{0.85\times 240}{3000}\left[1-\sqrt{1-\frac{2\times 4.741165608}{0.85\times 240}}\right]$$

$$\rho = 0.001599193 < \rho_{min}$$

ใช้ $\rho = \rho_{min} = 0.00467$

$$A_s = \rho bd = 0.0046667\times 30\times 285 = 133 \ \ cm^2$$

จำนวนเหล็ก DB 25 mm. = $\frac{133}{4.909} = 27.1 \Rightarrow$ 28 เส้น จัด 7 ชั้นๆ ละ 4 เส้น

.

หาตำแหน่งวิกฤตสำหรับแรงเฉือน

$$x = 0.15L_n = 0.15 \times 7.70 = 1.155 \text{ m} < d = 2.85 \text{ m} \quad \text{O.K.}$$

$$x_1 = x + \frac{c}{2} = 1.155 + \frac{0.30}{2} = 1.305 \text{ m}$$

แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต

$$V_u = w_u\left(\frac{L}{2} - x_1\right)$$

$$V_u = 40{,}917 \times \left(\frac{8.00}{2} - 1.305\right) = 110{,}271.315 \text{ kg}$$

$$M_u = 0 + \frac{163{,}668 + 110{,}271.315}{2} \times 1.305 = 178{,}745.403 \text{ kg.m}$$

$$\phi V_n = 0.18\phi\left(10 + \frac{L_n}{d}\right)\sqrt{f_c'}\, b_w d \le 1.6\phi\sqrt{f_c'}\, b_w d$$

$$\phi V_n = 0.18 \times 0.85 \times \left(10 + \frac{7.70}{2.85}\right)\sqrt{240} \times 30 \times 285$$

$$\phi V_n = 257{,}410.8667 \text{ kg}$$

$$1.6\phi\sqrt{f_c'}\, b_w d = 1.6 \times 0.85\sqrt{240} \times 30 \times 285 = 180{,}140.2014 \text{ kg} > \phi V_n \quad \text{O.K.}$$

$$\phi V_n = 257{,}410.8667 \text{ kg} > V_u = 110{,}271.315 \text{ kg} \quad \text{O.K.}$$

หาแรงเฉือนที่คอนกรีตรับได้

$$\phi V_c = \phi\left(3.5 - 2.5\frac{M_u}{V_u d}\right)\left(0.5\sqrt{f_c'} + 176\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d$$

$$\frac{M_u}{V_u d} = \frac{178{,}745.403 \times 100}{110{,}271.315 \times 285} = 0.568757933$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{28 \times 4.909}{30 \times 285} = 0.016076257$$

$$176\rho_w \frac{V_u d}{M_u} = 176 \times \frac{0.016076257}{0.568757933} = 4.974737263$$

$$3.5 - 2.5\frac{M_u}{V_u d} = 3.5 - 2.5 \times 0.568757933 = 2.078105166 < 2.5 \quad \text{O.K.}$$

$$\phi V_c = 0.85 \times 2.078105166\left(0.5\sqrt{240} + 4.974737263\right) \times 30 \times 285$$

$$\phi V_c = 192{,}110.0762 \text{ kg} > 1.6\phi\sqrt{f_c'}\, b_w d$$

ดังนั้น $\phi V_c = 1.6\phi\sqrt{f_c'}\, b_w d = 180{,}140.2014$ kg

ตรวจสอบพบว่า $V_u < \phi V_c$ เหล็กรับแรงเฉือนเสริมในปริมาณขั้นต่ำ

เลือก $2 - \text{DB } 12$ mm ทั้งเหล็กแนวตั้งและแนวนอน มี

$$A_v = A_{vh} = 2 \times 1.131 = 2.262 \text{ cm}^2$$

เหล็กทางตั้ง

$$s \le \frac{A_v}{0.0015 b_w} = \frac{2.262}{0.0015 \times 30} = 50.27 \text{ cm}$$

$$s \le \frac{d}{5} = \frac{285}{5} = 57 \text{ cm}$$

$$s \le 45 \text{ cm}$$

เหล็กทางตั้ง 2-DB 12 mm.@ 0.45 m.

เหล็กทางนอน

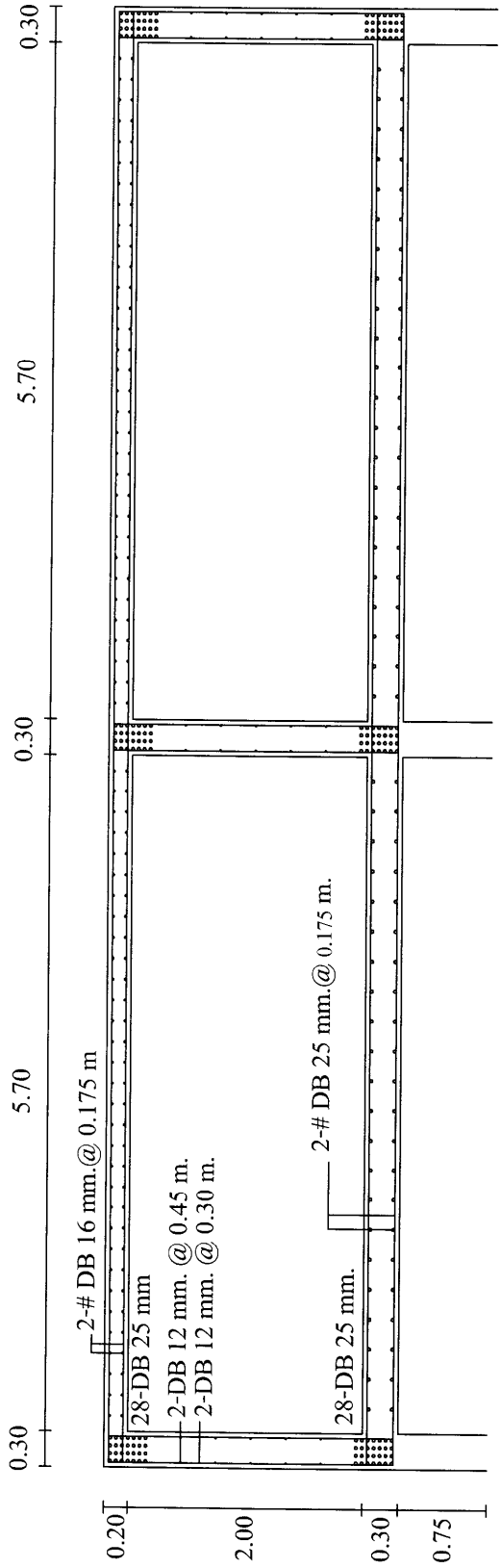
$$s_2 = \frac{A_{vh}}{0.0025 b_w} = \frac{2.262}{0.0025 \times 30} = 30.16 \text{ cm}$$

$$s_2 \le \frac{d}{3} = \frac{285}{3} = 93 \text{ cm}$$

$$s_2 \le 45 \text{ cm}$$

เหล็กทางนอน 2-DB 12 mm.@ 0.30 m.

เขียนรายละเอียด



รูปที่ 23 รายละเอียดการเสริมเหล็กถังเก็บน้ำบนดาดฟ้า