SAP2000 Application Example: Underground Water Tank

3

ตัวอย่างนี้จะเป็นการวิเคราะห์และออกแบบถังเก็บน้ำใต้ดินคอนกรีตเสริมเหล็กรองรับด้วยเสาเข็ม เจาะมีแบบแปลนและแบบด้านข้าง ดังแสดงในรูป





เริ่มต้นโปรแกรม SAP2000 เปลี่ยนหน่วยเป็นหน่วย Kgf, m, C

กด Ctrl+N เริ่มต้นโมเดลใหม่ เลือกใช้ Grid Only เพื่อสร้างเฉพาะเส้นกริดเท่านั้น

📕 New Model						×
New Model Initiali (Initialize Mo Initialize Mo	zation del from Defaults v del from an Existir	with Units King File	gf, m, C 💌	Project Infor Modify.	mation /Show Info	
Select Template	Grid Only	<u>ه م</u> رسم Beam	2D Trusses	3D Trusses	2D Frames	
3D Frames	Wall	Flat Slab	Shells	Staircases	Storage Structures	
Underground	Solid Models	Pipes and Plates				

ใส่ข้อมูลเส้นกริดทิศทาง X, Y และ Z ดังในรูป

Quick Grid Lines	
Cartesian	Cylindrical
Coordinate System Nar	ne
GLOBAL	
- Number of Grid Lines-	
X direction	7
Y direction	4
Z direction	2
Grid Spacing	
× direction	3
Y direction	3
Z direction	3.
- First Grid Line Location	
× direction	0.
Y direction	0.
Z direction	0.
OK	Cancel

เมื่อคลิก OK เส้นกริดจะถูกสร้างขึ้น ปรับหน้าต่างมุมมอง X-Z Plane @ Z=0 ดังในรูป SAP2000 v15.1.0 Ultimate - AX03 UnderG WTank โมโน เป็นไป เป็น เป็นไป เป็นไน เป็นไป เป็นไน เป็นไป เป็นไป เป็นไป เป็นไป เป็นไป เป็นไป เป็นไน เป็นไป เป็นไป เป็นไป เป็นไน เป็



สั่งเมนู File > Save บันทึกไฟล์ตั้งชื่อว่า AX03 UnderG WTank.sdb



กำหนดคุณสมบัติวัสดุ

- เราจะกำหนดวัสดุสองชนิดคือเหล็กเสริมและคอนกรีต สั่งเมนู Define > Materials... หรือคลิก ปุ่ม น้ำต่างวัสดุจะแสดงขึ้นมา โดยมีสองรายการที่ติดมากับโปรแกรมคือ 4000Psi สำหรับคอนกรีต และ A992Fy50 สำหรับเหล็กรูปพรรณ
- ▶ เลือกรายการ 4000Psi แล้วคลิกปุ่ม Modify/Show Material เพื่อแก้ไข

Define Materials	
Define Materials Materials 4000Psi A992Fy50	Click to: Add New Material Add Copy of Material Modify/Show Material Delete Material Show Advanced Properties
	Cancel

▶ ปรับเปลี่ยนข้อมูลเป็นคอนกรีต Fc240 ดังในรูป

Material Property Data	
_ General Data	
Material Name and Display Color Fc240	
Material Type Concrete	-
Material Notes Modify	/Show Notes
Weight and Mass	Units
Weight per Unit Volume 2.403E-03	Kgf, cm, C 💌
Mass per Unit Volume 2.450E-06	
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	233928.
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	97470.
Other Properties for Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, f'c	240.
Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	
Switch To Advanced Property Display	
	1
	1

เพิ่มวัสดุใหม่คือเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (Rebar) คลิกปุ่ม Add New Material

Define Materials	
Materials Fc240 A992Fy50	Click to: Add New Material Add Copy of Material Modify/Show Material Delete Material Show Advanced Properties
	OK Cancel

 หน้าต่าง Quick Material Definition จะแสดงขึ้นมาให้เลือกเหล็กตามมาตรฐานที่ใกล้เคียงคือ ASTM A615

Quick Material De	finition
Region	United States
Material Type	Rebar
Standard	ASTM A615
Grade	Grade 60 💌
	OK Cancel

เมื่อมีรายการเพิ่มเข้ามา ให้กดปุ่ม Mofify/Show Material เพื่อแก้ไขข้อมูล

Define Materials	
Materials A615Gr60 Fc240 A932Fy50	Click to: Add New Material Add Copy of Material Modify/Show Material Delete Material Show Advanced Properties OK Cancel

ใส่ข้อมูลเหล็กเสริมคอนกรีต SD40 ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้

Material Property Data	
General Data Material Name and Display Color Material Type Material Notes Modify/Show Note	25
Weight and Mass Units Weight per Unit Volume 7.849E-03 Mass per Unit Volume 8.004E-06	, C 💌
Uniaxial Property Data Modulus of Elasticity, E Poisson's Ratio, U Coefficient of Thermal Expansion, A Shear Modulus, G	1.9 05
Other Properties for Rebar Materials Minimum Yield Stress, Fy Minimum Tensile Stress, Fu Expected Yield Stress, Fye Expected Tensile Stress, Fue	
Switch To Advanced Property Display	

เมื่อใส่ข้อมูลเสร็จแล้วคลิก OK แล้ว เราจะมีรายการวัสดุคือ

Define Materials	
Materials	Click to:
SD40 Fc240	Add New Material
A992Fy50	Add Copy of Material

สร้างจุดรองรับ

Supports



ตีกรอบเลือกจุดทั้งหมด สั่งเมนู Assign > Joint > Restraints... เลือกแบบ Pinned

Joint Restraints
Restraints in Joint Local Directions
▼ Translation 1 Rotation about 1
▼ Translation 2
🔽 Translation 3 🔲 Rotation about 3
Fast Restraints
OK Cancel

จุดรองรับจะถูกสร้างขึ้นตามจุดตัดกริดดังในรูป





 สั่งเมนู Define > Section Properties > Area Sections คลิกรายการ ASEC1 กดปุ่ม Modify/Show Section...

Area Sections	
Sections ASEC1 None	Select Section Type To Add Shell Click to: Add New Section Add Copy of Section Delete Section OK Cancel

▶ เปลี่ยนชื่อเป็น SLAB เลือกเป็นแบบ Shell-Thick ความหนา 1 m

Section Name	SLAB	
Section Notes	Modify/Show	
	Display Color 📕	
Туре		-
C Shell - Thin		
Shell - Thick		
C Plate - Thin		
O Plate Thick		
C Membrane		
C Shell - Layered/No	onlinear	
Modify	/Show Layer Definition	
/laterial		
Material Name	+ Fc240 •	
Material Angle	0.	
Thickness		
Membrane	1	
Bending	1	
Concrete Shell Section	Design Parameters	
Modify/Show \$	Shell Design Parameters	
Chiffman Madifiara	- Tomp Dopondont Proportion	
Set Modifiers	Thermal Properties	
Jet modifiers		
	Cancel	

SAP2000 : Application Examples : Underground Water Tank By Dr.Mongkol JIRAWACHARADET



 คลิกเลือกพื้นที่วาด สั่งเมนู Edit > Edit Areas > Expand/Shrink Areas สั่งขยายออกทุกด้าน เป็นระยะ 1 m

Expand/Shrink Areas					
Expand/Shrink Options © Offset All Area Edges © Offset Selected Area Edges Only © Offset Selected Points of Selected Areas Only					
Offset Offset Distance (Positive Distance Expands) I. Note: Offset distance is measured perpendicular to area edge.					
OK Cancel					

พื้นจะขยายออกทุกด้าน 1 m ดังในรูป



คลิกเลือกพื้น สั่งเมนู Assign > Area > Automatic Area Mess เพื่อกำหนดการแบ่งพื้นย่อย

Assign Automatic Area Mesh					
No Auto Meshing Mesh Area Into This Number of Objects (Quads and Triangles Only) Along Edge from Point 1 to 2 Along Edge from Point 1 to 3	Meshing Group ALL Sub Mesh Option Sub Mesh As Required To Obtain Elements No Larger Than The Specified Maximum Size				
Mesh Area Into Objects of This Maximum Size (Quads and Triangles Only) Along Edge from Point 1 to 2 Along Edge from Point 1 to 3	Maximum Sub Meshed Size				
Mesh Area Based On Points On Area Edges (Quads and Triangles Only) Points Determined From: Intersections of Straight Line Objects In Meshing Group With Area Edges Point Objects In Meshing Group That Are On Area Edges Mesh Area Using Cookie Cut Based On Straight Line Objects In Meshing Group					
Extend All Lines To Intersect Area Edges Mesh Area Using Cookie Cut Based On Point Objects In Meshing Group Rotation of Cut Lines From Area Local Axes (Deg)					
C Mesh Area Using General Divide Tool Based On Points and Lines In Meshing Group Maximum Size of Divided Object					
Local Axes For Added Points					
Make same on Edge if adjacent corners have same local axes definition Make same on Face if all corners have same local axes definition					
Restraints and Constraints For Added Points Add on Edge when restraints/constraints exist at adjacent corner points (Applies if added edge point and adjacent corner points have same local axes definition) Add on Face when restraints/constraints exist at all corner points (Applies if added face point and all corner points have same local axes definition)	OK Cancel				

ลองสั่งรันโดยกด F5 ดูผลจากน้ำหนักของพื้น DEAD คลิกหน้าต่าง 3-D View กดปุ่ม เลือก Shells กำหนดค่าดังในรูป

Member Force Diagram					
Case/Combo Name DEAD 💌	Component Type C Resultant Forces C Shell Stresses C Shell Layer Stresses C Concrete Design				
Multivalued Options C Envelope Max C Envelope Min C Step 1	Output Type Visible Face C Maximum Top Face C Minimum C Bottom Face C Absolute Maximum				
Contour Range Min O. Max O. Set To Default Contour Range Stress Averaging	Component C S11 C S13 C S22 C S23 C S12 C SMaxV • SMax				
None At All Joints Over Objects and Groups Set Groups Miscellaneous Options Show Deformed Shape	⊂ SMin ⊂ SVM ┌─ Show Smax and Smin as Arrows				
Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)	Cancel				



น้ำหนักน้ำบนพื้นถัง

ถังน้ำมีความสูง 3 เมตร น้ำหนักบรรทุกของน้ำบนพื้นถัง = w h = $1.0 \times 3.0 = 3.0 \text{ t/m}^2$

คลิกปุ่ม 🕒 ปลดล็อคโมเดล สั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างกรณีบรรทุก WATER

Load Patterns Load Pattern Name Type WATER OTHER DEAD 1 WATER OTHER OTHER O Modify Lateral Load Pattern Modify Lateral Load Pattern <

คลิกเลือกพื้น สั่งเมนู Edit > Edit Areas > Divide Areas เลือกแบ่งพื้นตามจุดตัดกริด

O Divide Area Into This Nur	mber of Objects (Quads and Triangle	es Only)	Units	m C
Along Edge from Poi	int 1 to 2				, iii, C
Along Edge from Poi	int 1 to 3				
O Divide Area Into Objects	of This Maximum S	ize (Quads and T	riangles Only)		
Along Edge from Poi	nt 1 to 2	······		_	
Along Edge from Poi	int 1 to 3		i i		

พื้นจะถูกแบ่งออกตามจุดตัดกริด



คลิกเลือกพื้นภายในโดยตีกรอบภายในจากมุมขวาบนลงซ้ายล่างดังในรูป



สั่งเมนู Assign > Area Loads > Uniform (Shell) ใส่น้ำหนักน้ำ WATER = 3000 kg/m²

Area Uniform Loads						
Load Pattern Name	✓ Units					
Uniform Load Load 3000 Coord System GLOBAL Direction Gravity	Options C Add to Existing Loads Replace Existing Loads C Delete Existing Loads					
ОК	Cancel					

กด Ctrl+A เลือกทั้งหมด สั่งเมนู Assign > Areas > Automatic Area Mesh เพื่อแบ่งพื้นย่อย

sign A	utomatic Area Mesh
O N	lo Auto Meshing
CM	Iesh Area Into This Number of Objects (Quads and Triangles Only) Along Edge from Point 1 to 2
•	tesh Area Into Objects of This Maximum Size (Quads and Triangles Only) Along Edge from Point 1 to 2 1 Along Edge from Point 1 to 3 1
O M F	fesh Area Based On Points On Area Edges (Quads and Triangles Only) ²oints Determined From:

- ลองสั่งรันโดยกด F5 ดูผลจากน้ำหนักของพื้น WATER คลิกหน้าต่าง 3-D View กดปุ่ม
 เลือก Shells กำหนดค่าเช่นเดิม
- สั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อใหม่เป็น AX03 UnderG WTank2.sdb



SAP2000 : Application Examples : Underground Water Tank By Dr.Mongko

- คลิกหน้าต่างสองมิติแล้วกดปุ่ม 💌 แล้วกดปุ่ม 🗇 👽 จนได้มุมมอง X-Z Plane @ Y= 0

คลิกปุ่ม 🔟 เลือกหน้าตัด WALL แล้ววาดผนังดังในรูป



คลิกเลือกผนังที่วาด กด Ctrl+R เพื่อทำซ้ำโดยใช้ระยะ dy = 9 จะได้



เลือกผนังที่วาดแล้วกด Ctrl+R ทำซ้ำโดยใช้ระยะ dx = 18







จะเห็นว่าแกน 3 (ลูกศรสีฟ้า) ของผนังทั้ง 4 ด้านมีทิศทางดังในรูป



เพื่อความสะดวกในการใส่แรงดันน้ำและแรงดันดิน เราจะเปลี่ยนทิศแกน 3 ของทุกผนังเป็นพุ่ง ออกทั้งหมด ในหน้าต่าง 3-D คลิกเลือกผนังด้านซ้ายและผนังด้านบน สั่งเมนู Assign > Area > Reverse
 Local 3 แกนเฉพาะที่ของผนังจะเปลี่ยนเป็นดังในรูป



สั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อใหม่เป็น AX03 UnderG WTank3.sdb

แรงดันน้ำบนผนังด้านข้าง

Water Pressure

วิธีที่ 1 : Uniform Surface Pressure

แรงดันน้ำมีการกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยมตามสูตร w h ดังในรูปด้านซ้าย แต่ใน SAP2000 มีให้ใส่ เฉพาะแรงดันสม่ำเสมอ ดังนั้นถ้าทำแบบง่ายก็อาจคำนวณเป็นค่าแรงดันเทียบเท่าดังในรูปด้านขวา



- คลิกเลือกผนังทั่งหมด หรือ สั่งเมนู Select > Select > Properties > Area Sections เลือก
 WALL แล้วกด Ctrl+Shift+G ตั้งชื่อกลุ่มเป็น WALL
- กด Ctrl+G เลือกกลุ่ม WALL สั่งเมนู Assign > Area > Automatic Area Mess แบ่งพื้นย่อย เป็นขนาด 1 m เช่นเดียวกับพื้น

กด Ctrl+G เลือก WALL สั่งเมนู Assign > Area Loads > Surface Pressure

Area Surface Pressure Load	
Load Pattern Name + WATER Pressure • By Element Pressure • 1500 • By Joint Pattern Pattern Multiplier	Units Units Kgf, m, C Face Top Options Add to Existing Loads Replace Existing Loads Delete Existing Loads
ОК	Cancel

ลองสั่งรันโดยกด F5 ดูผลจากน้ำหนักของพื้น WATER คลิกหน้าต่าง 3-D View กดปุ่ม เลือก Shells เลือก Resultant Force > Mmax



วิธีที่ 2 : Surface Pressure by Joint Pattern

เราสามารถกำหนดรูปแบบการกระจายแรงดันโดยการใช้ "รูปแบบจุดต่อ (Joint Pattern)" ซึ่ง อาจจะยุ่งยากกว่าวิธีแรกแต่จะมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า

- สั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อใหม่เป็น AX03 UnderG WTank4.sdb
- กด Ctrl+G เลือกกลุ่ม WALL สั่งเมนู Assign > Area > Automatic Area Mess เลือก No
 Auto Meshing เพื่อยกเลิกการแบ่งพื้นย่อยอัตโนมัติ
- กด Ctrl+G เลือก WALL สั่งเมนู Assign > Area Loads > Surface Pressure เลือก Delete
 Existing Loads เพื่อลบน้ำหนักเดิมออก

Area Surface Pressure Load					
Load Pattern Name + WATER	▼ Units				
Pressure	Face				
 By Element 	Тор 💌				
Pressure 0					
C By Joint Pattern Pattern Multiplier 1.0	Options C Add to Existing Loads C Replace Existing Loads C Delete Existing Loads				
ОК	Cancel				

- เสร็จแล้วลองคลิกขวาที่ผนัง ตรวจดูในแถบ Assignments > Automatic Area Mesh = None และในแถบ Loads จะไม่มีข้อมูล
- กด Ctrl+G เลือก Wall สั่งเมนู Edit > Edit Areas > Divide Areas แบ่งเป็นขนาด 1 m



ผนังทั้งหมดจะถูกแบ่งย่อยเป็นขนาด 1 m ดังในรูปข้างล่าง



53

สั่งเมนู Define > Joint Patterns... กด Add New Pattern Name ตั้งชื่อว่า WaterP

Define Pattern Names	
Patterns WaterP Default WaterP	Click to: Add New Pattern Name Change Pattern Name Delete Pattern OK Cancel

คลิกหน้าต่างสองมิติ สั่งเมนู View > Set 3D View เลือก XY ให้แสดงรูปแปลน

Set 3D View	
	¥ ↓→×
View Direction Angle	Fast View
270 Plan 90 Elevation 0 Aperture	3-d xy xz yz
OK	Cancel

ตีกรอบเลือกผนังทั้ง 4 ด้านทีละผนังดังในรูป



สั่งเมนู Assign > Joint Patterns เลือก WaterP แบบ Z Coordinate at Zero Pressure แล้วใส่ค่าระดับความสูง Z ที่ระดับผิวน้ำคือ 3 m และหน่วยน้ำหนักน้ำคือ 1000 kg/m³ ข้อจำกัด Zero Neg หมายถึงไม่มีค่าลบ

P	Pattern Data						
	Pattern Name		WaterP				
	– Pattern Assignmen	t Type					
	○ X, Y, Z Multipliers (Pattern Value = Ax + By + Cz + D)						
	Coordinate a	at Zero Pressure ar	nd Weight Per Unit Vo	blume			
	Z Coordinate at Ze Z Coordinate	ro Pressure and W Wtper Unit Vol	eight per Unit Volume Restriction	,			
	3	1000	Zero Neg 📃 💌	BBA			
	3	1000	Zero Neg	Modify Delete			
	Added Uniform Value per Unit Area						
	Restrictions		Options				
	O Use all values	3	 Add to existing values 				
	C Zero Negativ	e values	C Replace existing values				
	C ∠ero Positive	values		g values			
		ОК	Cancel				

 คลิกมุมมอง 3-D View สั่งเมนู Display > Show Misc Assigns > Joints... เลือกให้แสดง Joint Patterns > WaterP

Show J	Show Joint Assignments		
Assig	gnment Type		
0	Restraints		
0	Constraints		
	Name		
0	Local Axes		
0	Spring Diagram		
	Coord System		
0	Spring Matrix		
	Joint		
	Coord System		
0	Masses		
0	Panel Zones		
۲	Joint Patterns		
	Name WaterP		
C Vehicle Response Component Overwrites			
C Point Object Merge Numbers			
	OK Cancel		



เมื่อซูมขยายในมุมมองสามมิติจะค่าแรงดันกระจายตามจุดต่อดังในรูป

กด Ctrl+G เลือก Wall สั่งเมนู Assign > Area Loads > Surface Pressure เลือกกรณี บรรทุก Water และรูปแบบจุดต่อ WaterP ดังในรูป

Area Surface Pressure Load	
Load Pattern Name + WATER Pressure By Element Pressure By Joint Pattern Pattern WaterP Multiplier	Units Kgf, m, C Face Top Options Add to Existing Loads Replace Existing Loads Delete Existing Loads
ОК	Cancel

 คลิกหน้าต่าง 3-D View สั่งเมนู Display > Show Load Assigns > Area... เลือกให้แสดง แรงดันน้ำโดยกำหนดดังในรูป

Show Area Loads	
Load Pattern Name	WATER
Load Type	
C Uniform Load Contours	C Surface Pressure Contours
Coord System GLOBAL	Face Face
Direction	Surface Pressure Values
C Uniform Load Values	Face Top 💌
Coord Sustem GLOBAL	Pore Pressure Contours



จะสังเกตแรงดันบนผนังทั้ง 4 ด้านมีทิศพุ่งออกและมีขนาดเพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง

ลองสั่งรันโดยกด F5 ดูผลจากน้ำหนักของพื้น WATER คลิกหน้าต่าง 3-D View กดปุ่ม เลือก Shells เลือก Resultant Force > Mmax



แรงดันดินบนผนังด้านข้าง

Earth Pressure

แรงดันดินบนผนังด้านข้างจากดินภายนอกแบ่งเป็นสองส่วนคือ ph1 แรงดันดินจากน้ำหนักบรรทุก กดทับ (surcharge) บนผิวดินมีค่าคงที่, ph2 แรงดันจากเนื้อดิน และ pw แรงดันน้ำซึ่งเพิ่มขึ้นตาม ความลึกกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูป



การคำนวณแรงดันดินโดยใช้สูตรอย่างง่ายทำได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Ka ซึ่งคำนวณจากค่ามุมเสียด ทานของดิน

> $K_{a} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \frac{1 - \sin 20^{\circ}}{1 + \sin 20^{\circ}} = 0.4903$ ph1 = K_a x surcharge = 0.4903 x 1000 = 490 kg/m² ph2 = K_a γ h = 0.4903 x (2200-1000) h = 588 h kg/m2 pw = γ_{w} h = 1000 h kg/m² ph2 + pw = 1588 h kg/m²

- สั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อใหม่เป็น AX03 UnderG WTank5.sdb
- สั่งเมนู Define > Load Patterns สร้างกรณีบรรทุก SOIL

Define Load Patterns				
Load Patterns Load Pattern Name SOIL DEAD WATER SOIL	Type OTHER DEAD OTHER OTHER OTHER	Self Weight Multiplier 0 0	Auto Lateral Load Pattern	Click To: Add New Load Pattern Modify Load Pattern Modify Lateral Load Pattern Delete Load Pattern Show Load Pattern Notes OK
Define Pattern Names	Click to: Add New Pattern Name Change Pattern Name Delete Pattern OK Cancel		 สั่งเมนู Define New Pattern N คลิกหน้าต่างสอง View เลือก XY ใ ตีกรอบเลือกผนัง เลือกจุดต่อทั้งหม 	> Joint Patterns กด Add Jame ตั้งชื่อว่า SoilP งมิติ สั่งเมนู View > Set 3D ให้แสดงรูปแปลน งทั้ง 4 ด้านทีละผนังเช่นเดิมเพื่อ เดบนผนัง

58

J X 3-D View	🛛 📜 3-D View 🗸

สั่งเมนู Assign > Joint Patterns เลือก SoilP แบบ Z Coordinate at Zero Pressure แล้ว ใส่ค่าระดับความสูง Z ที่ระดับผิวน้ำคือ 3 m และหน่วยน้ำหนักดินคือ 1588 kg/m³ ข้อจำกัด Zero Neg หมายถึงไม่มีค่าลบ และใช้ surcharge เพิ่มอีก 1000 kg/m²

Pattern Data			
Pattern Name	SoilP		
 Pattern Assignment Type ○ X, Y, Z Multipliers (Pattern Value = Ax + By + Cz + D) ○ Z Coordinate at Zero Pressure and Weight Per Unit Volume 			
Z Coordinate at Zero Pressure and W Z Coordinate Wt per Unit Vol 3 1588 3 1588	eight per Unit Volume Restriction Zero Neg Add Modify Delete		
Added Uniform Value per Unit Area	1000		
Restrictions Options Image: Construct of the second seco			
OK	Cancel		

 คลิกมุมมอง 3-D View สั่งเมนู Display > Show Misc Assigns > Joints... เลือกให้แสดง Joint Patterns > SoilP

Show Joint Assignments	
Assignment Type Joint Patterns Name SoilP	
 Vehicle Response Component Overwrites Point Object Merge Numbers 	
OK Cancel	



กด Ctrl+G เลือก Wall สั่งเมนู Assign > Area Loads > Surface Pressure เลือกกรณี บรรทุก SOIL และรูปแบบจุดต่อ SoilP ดังในรูป

Area Surface Pressure Load	
Load Pattern Name + SOIL Pressure By Element Pressure By Joint Pattern Pattern SoilP Multiplier	Units Units Kgf, m, C Face Top Options C Add to Existing Loads Replace Existing Loads C Delete Existing Loads
ОК	Cancel

จะสังเกตแรงดันบนผนังทั้ง 4 ด้านมีทิศพุ่งเข้าและมีขนาดเพิ่มขึ้นจากบนลงล่าง



ลองสั่งรันโดยกด F5 ดูผลจากน้ำหนักของพื้น SOIL คลิกหน้าต่าง 3-D View กดปุ่ม เลือก Shells เลือก Resultant Force > Mmax



สภาวะการออกแบบถังน้ำใต้ดิน

Design Conditions

การออกแบบถังน้ำใต้ดินจะพิจารณาออกแบบเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกใน 2 สภาวะคือ กรณีที่มีน้ำเต็ม ถังมีแรงดันน้ำแต่ไม่มีแรงดันดินโดยรอบ และกรณีที่ไม่มีน้ำในถังแต่มีแรงดันดินโดยรอบ



โดยกำหนดเป็นกรณีบรรทุกร่วม (Load Combination) สำหรับการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้ งาน (Working Stress Design, WSD) และวิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM) คือ

WSD1	=	DEAD + WATER	SDM1	=	1.4 DEAD + 1.7 WATE	R
WSD2	=	DEAD + SOIL	SDM2	=	1.4 DEAD + 1.7 SOIL	

 สั่งเมนู Define > Load Combinations... คลิกปุ่ม Add New Combo เพื่อสร้างกรณีบรรทุก ร่วมใหม่ ตั้งชื่อแล้วเลือกกรณีบรรทุกและกำหนดค่าแฟกเตอร์ เช่นกรณี WSD1 ดังในรูป

Load Combination Data				
Load Combination Name (User-Generated) Notes		WSD1 Modify/Show Notes		
Load Combination Type		Linear Add	•	
Options Create Nonlinear Load Case from Load Combo Define Combination of Load Case Results Load Case Name				
WATER DEAD WATER	Linear Static Linear Static Linear Static	1 1 1 Ma De	dd Idify lete	
OK Cancel				

เมื่อสร้างจนครบทุกกรณีจะได้รายการดังในรูป

Define Load Combinations		
- Load Combinations WSD1 WSD2 SDM1 SDM2	Click to: Add New Combo Add Copy of Combo Modify/Show Combo Delete Combo	
	Add Default Design Combos Convert Combos to Nonlinear Cases OK Cancel	

► สั่งรันการวิเคราะห์โดยกด F5

ผลการวิเคราะห์เพื่อการออกแบบ Analysis Results for Designs



การพิจารณาแรงภายในผนังเพื่อนำไปออกแบบจะอ้างอิง ตามทิศทางของแกนเฉพาะที่ของผนังคือแกน 1, 2 และ 3

โดยที่แกน 3 จะชื้ออกนอกระนาบผนัง แกน 1 จะอยู่ใน แนวราบในระนาบผนัง และแกน 2 จะอยู่ในแนวดิ่งใน ระนาบผนัง

เหล็กเสริมทางตั้ง จะพิจารณาจากโมเมนต์ในแนวนอนคือ M11 ดังแสดงในรูป



คลิกหน้าต่าง 3-D View กดปุ่ม
 เลือก Shells เลือกกรณีบรรทุก WSD1 ให้แสดง
 Resultant Force > M11



คลิกหน้าต่างสองมิติ กดปุ่ม
 ให้แสดงมุมมอง X-Z Plane @ Y=0

กดปุ่ม 1 เลือก Shells เลือกกรณีบรรทุก WSD1 ให้แสดง Resultant Force > M11



เลื่อนตัวชี้ไปตามพื้นที่บนผนังเพื่อหาค่ามากที่สุด คลิกขวาเพื่อให้แสดงรูปขยายของผนังย่อย



จะได้ค่าโมเมนต์มากที่สุดคือ 919 Kgf-m/m

ทำเช่นเดิมสำหรับกรณีบรรทุก WSD2, SDM1 และ SDM2 จะได้

	M11 (Kgf-m/m)
WSD1	919
WSD2	-2,358
SDM1	1,562
SDM2	-4,009

ผลของฝาถัง

ถังน้ำบางแบบจะมีฝาถังซึ่งจะมีส่วนช่วยในการลดแรงในผนังได้ ซึ่งผู้ออกแบบจะระบุให้หล่อฝาถัง ก่อนแล้วจึงค่อยกลบดินด้านข้าง ทั้งนี้ก็เพื่อหลีกเลี่ยงแรงในผนังที่มากเกินกว่าที่ได้ออกแบบไว้

- สั่งเมนู File > Save As ตั้งชื่อใหม่เป็น AX03 UnderG WTank6.sdb
- สั่งเมนู Define > Section Properties > Area Sections... คลิกปุ่ม Add New Section เพื่อ สร้างหน้าตัดใหม่ ตั้งชื่อว่า TSLAB กำหนดค่าดังในรูป

	TSLAB	
Section Notes	Modify/Show	
	Display Color	
Туре		
Shell - Thin		
🔘 Shell - Thick		
C Plate - Thin		
Plate Thick		
C Membrane	1	
Modifi	VShow Layer Definition	
	and a summer and a summer and a summer and a summer summer summer summer summer summer summer summer summer sum	
Material	+ [5-240	
Material Name		
Material Angle	<u> 0.</u>	
Thickness		
Membrane	0.3	
Bending	0.3	
Concrete Shell Section	Design Parameters	
Modify/Show	Shell Design Parameters	
Stiffness Modifiers	Temp Dependent Properties	
Set Modifiers	Thermal Properties	
OK	Cancel	

คลิกเลือกพื้นที่วาด สั่งเมนู Assign > Area > Automatic Area Mesh กำหนดขนาดพื้นย่อย
 1 m เช่นเดียวกับพื้นด้านล่าง และผนังด้านข้าง

Z=3



สั่งรันการวิเคราะห์โดยกด F5 แล้วดูผลโดยคลิกหน้าต่าง 3-D View กดปุ่ม fill เลือก Shells ให้แสดง Resultant Force > MMAX ของกรณีบรรทุก WATER และ SOIL จะได้



คลิกหน้าต่างสองมิติ กดปุ่ม Z ให้แสดงมุมมอง X-Z Plane @ Y=0

กดปุ่ม 11 เลือก Shells เลือกกรณีบรรทุก WSD1 ให้แสดง Resultant Force > M11



ทำเช่นเดิมเพื่อหาโมเมนต์มากที่สุดสำหรับกรณีบรรทุก WSD2, SDM1 และ SDM2 จะได้

	M11 (Kgf-m/m)	
WSD1	704	
WSD2	-839	
SDM1	1,086	
SDM2	-1,193	

จะเห็นว่ามีค่าลดมากเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีฝาถัง

ออกแบบเหล็กเสริมทางตั้งโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

WSD

กำหนด f_c = 65 ksc ตามกฎกระทรวง

$$f_{s} = 0.5 fy = 1500 \text{ ksc}$$

$$n = \text{Es/Ec} = 8.54$$

$$k = 1/(1+f_{s}/nf_{c}) = 0.27$$

$$j = 1 - k/3 = 0.91$$

$$R = (1/2) f_{c} k j = 7.985 \text{ ksc}$$

$$M_{c} = R b d^{2} = 7.985 \times 1.0 \times 25^{2} = 4,991 \text{ kg-m} > 839 \text{ kg-m}$$
OK

67

คำนวณปริมาณเหล็กเสริมแนวตั้งที่ต้องการ

ใช้เหล็ก DB12 (A_{s1} = 1.131 cm²)

ใช้เหล็กเสริมทางตั้ง DB12 @ 0.25 m

กำหนด
$$f'_c = 240 \text{ ksc}$$
 ดังนั้น $\beta_1 = 0.85$
 $f_y = 4,000 \text{ ksc}$ (เหล็ก SD40)
 $\rho_b = 0.85 (0.85 \times 240)/4,000 \times 6,120/(6,120+4,000) = 0.0262$
 $\rho_{max} = 0.75\rho_b = 0.0197$
 $R_n = M_u/\phi bd^2 = 119,300/(0.9 \times 100 \times 25^2) = 2.12 \text{ ksc}$
 $\rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}} \right] = 0.00053 < \rho_{max}$ OK

$$A_s = \rho bd = 0.0053 \times 100 \times 25 = 1.33 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s,min}$$
 Use As,min

ใช้เหล็กเสริมทางตั้ง DB12 @ 0.25 m