

การวิเคราะห์โครงสร้างของท่อลอดสี่เหลี่ยมโดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล

Structural Analysis of Box Culvert using MS. Excel

เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

E-mail: pommy90@hotmail.com

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปแล้วท่อลอดเป็นสิ่งก่อสร้างใต้ถนน ทางรถไฟ หรือคันดิน เพื่อใช้เป็นทางระบายน้ำหรืออีกมิติหนึ่งสามารถใช้เป็นโครงสร้างสะพานได้ สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างท่อลอดสี่เหลี่ยมนี้มีความซับซ้อนเนื่องจากมีตัวแปรหลายตัว เช่น มิติของท่อลอดทั้งความกว้างและความสูง ความสูงของดินถม แรงดันดินด้านข้าง และน้ำหนักจากรถบรรทุกประสมค์ของบทความนี้ คือ นำเสนอการประยุกต์ใช้ตารางคำนวณไมโครซอฟท์เอ็กเซลในการวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีการกระจายโมเมนต์ของท่อลอดสี่เหลี่ยมแบบท่อเดี่ยว ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โครงสร้างท่อลอดได้ และยังผลให้สามารถเลือกมิติของโครงสร้างที่ต้องการตามวิศวกรผู้ออกแบบได้

Abstract

Generally, box culvert is constructed under highway, railway or ridge for creating trench drainage. On the other hand, it can be used as a bridge. For structural analysis of box culvert, it seems to be a complex task for several engineers because there are many variables involved for example its dimensions both width and height, overburden pressure,

lateral soil pressures and truck weight as live load. Therefore, the purpose of this paper is to present an applied spreadsheet for structural analysis of a single box culvert using Moment Distribution Method. As a result, it enables to analyze more effectively. In addition, designing engineers can be used repetitively to meet requirement.

1. บทนำ

การก่อสร้างท่อลอดคอนกรีตเสริมเหล็กแบบสี่เหลี่ยมที่ใช้เป็นทางระบายน้ำหรือทางสัญจรมีทั้งแบบที่เป็นมาตรฐานที่ทางหน่วยงานราชการได้วิเคราะห์ และออกแบบโครงสร้างเสนอเป็นแบบมาตรฐานสำเร็จรูป แต่อย่างไรก็ตามมิติของโครงสร้าง หรือเงื่อนไขของสภาพหน้างานที่ทำการก่อสร้างท่อลอดสี่เหลี่ยมยังมีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ ดังนั้นวิศวกรโครงสร้างต้องทำการตรวจสอบ หรือวิเคราะห์ทบทวนตามลักษณะเงื่อนไขเชิงวิศวกรรมใหม่ ซึ่งการวิเคราะห์โครงสร้างท่อลอดนี้ มีตัวแปรนำเข้าประกอบการวิเคราะห์หลายตัว เช่น มิติของโครงสร้าง ความลึกในการฝังท่อ คุณสมบัติของดิน และน้ำหนักบรรทุกจร เป็นต้น การวิเคราะห์โครงสร้างเหล่านี้วิศวกรอาจมีความต้องการวิเคราะห์ในหลากหลายเงื่อนไขเพื่อนำไปสู่

การออกแบบที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นอาจต้องทำการวิเคราะห์หลายครั้งซึ่งยุ่งยาก และใช้เวลา สำหรับการใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างสมัยใหม่อาจมีราคาค่าใช้จ่ายสูง บางโปรแกรมไม่รองรับเงื่อนไขกรณีที่โครงสร้างไม่มีจุดยึดตั้ง(Support) หรือผู้ใช้อาจขาดความรู้ในการใช้งาน ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอการประยุกต์ใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (MS. Excel) ในการวิเคราะห์โครงสร้างบอลลอดสี่เหลี่ยมแบบทอเดียว เป็นโปรแกรมที่วิศวกรส่วนใหญ่คุ้นเคย และหาได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถดัดแปลง หรือพัฒนาเสริมในส่วนที่ต้องการได้ง่าย

2. วิธีการศึกษา

ลำดับขั้นตอนการศึกษาเริ่มต้นจากการมีปัญหาด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของทอลอดสี่เหลี่ยม และทำการคำนวณโดยนำโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างหลายโปรแกรม(ไม่ระบุชื่อ) ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง และไม่ตอบสนอง อาจเนื่องจากเงื่อนไขของโครงสร้างที่ไม่มีจุดรองรับตามระบุใน Free Body Diagram ดังรูปที่ 1 ด้วยเหตุนี้จึงศึกษาค้นคว้าหลักการวิเคราะห์หรือออกแบบทอลอด โดยใช้ระเบียบวิธีในหนังสือ ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก ของ ศ.ดร.ชัย มุกตพันธ์ และ นาย คาซุโตะ นาคาซาวา[1] ที่นำเสนอการวิเคราะห์โครงสร้างของทอลอดดังกล่าวโดยใช้ Slope Deflection Method ซึ่งสามารถใช้ประกอบการวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเพื่อเพิ่มศักยภาพการวิเคราะห์โครงสร้างให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นดังกล่าวจึงสร้างตารางคำนวณจาก MS. Excel ตามระเบียบวิธี และปรับปรุงบางส่วนเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน และปรับเปลี่ยน

ส่วนการคำนวณวิเคราะห์โครงสร้างโดยหลีกเลี่ยงขบวนการการแก้สมการที่อาจไม่สามารถใช้ในตารางคำนวณได้อย่างอัตโนมัติ ดังนั้นจึงหาวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างที่เหมาะสมตามที่ระบุในหัวข้อที่ 3.4 และพัฒนาตารางคำนวณ ตามโปรแกรม MS. Excel ซึ่งระบุรายละเอียดในภาคผนวก

3. การวิเคราะห์โครงสร้างของทอลอดสี่เหลี่ยม

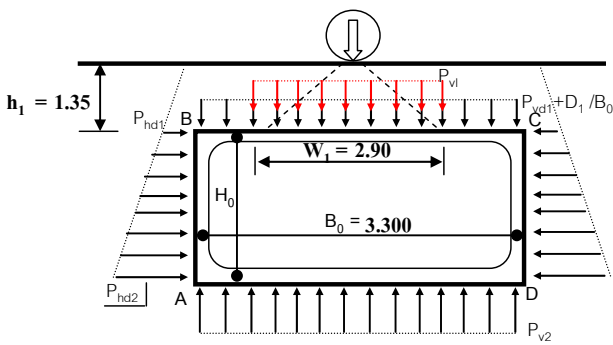
ส่วนนี้นำเสนอ เนื้อหาโดยย่อเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างของทอลอดสี่เหลี่ยมแบบเดี่ยว ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลมิติของทอลอดสี่เหลี่ยม น้ำหนักบรรทุกในการออกแบบ การคำนวณน้ำหนักบรรทุกและแรงที่กระทำ วิธีในการวิเคราะห์โครงสร้าง

3.1. ข้อมูลมิติของทอลอดสี่เหลี่ยม

มิติของทอลอดสี่เหลี่ยม ประกอบด้วย ความกว้าง(B) ความสูง(H) ระดับผิวดินถึงกึ่งกลางผิวบนทอ(h_1) ความหนาของทอด้านบน ด้านข้าง และด้านล่าง ซึ่งมีความหนาแตกต่างกัน โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม ได้แก่ ความกว้างวัดจากกึ่งกลางของผนังทอด้านข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง(B_0) ความสูงของทอวัดจากกึ่งกลางของผนังทอด้านบนไปยังด้านล่าง(H_0) เป็นต้น แสดงในรูปที่ 1

3.2. น้ำหนักบรรทุกในการออกแบบ

น้ำหนักที่กระทำทอลอดนี้ ประกอบด้วย น้ำหนักของโครงสร้างทอ น้ำหนักจากรถบรรทุก (น้ำหนักจร) แรงจากแรงดันดินทั้งด้านบนที่มาจากดินถมและน้ำหนักส่งผ่านจากน้ำหนักบรรทุกจร แรงดันดินจากด้านล่าง และแรงดันดินด้านข้าง โดยแสดงรายละเอียดในรูปที่ 1



รูปที่ 1 Free Body Diagram ของ ท่อลอดสี่เหลี่ยม

3.3. การคำนวณน้ำหนักบรรทุกและแรงที่กระทำ

จากข้อมูลมิติของท่อลอดสี่เหลี่ยม และน้ำหนักในการออกแบบ การคำนวณน้ำหนักบรรทุกและแรงที่กระทำจะทำการคำนวณตามระเบียบวิธีการทางทฤษฎีทางปฐพีกลศาสตร์เช่น แรงดันดินด้านข้าง [1]

$$P = k_0 g h_1 \quad \dots\dots(1)$$

แรงกระทำจากน้ำหนักของล้อรถ[1]

$$P_{i+1} = 2P(1+i)/W_t \quad \dots\dots(2)$$

รายละเอียดของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และระเบียบวิธีการคำนวณสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก และ เอกสารอ้างอิงหมายเลข 1

3.4. วิธีในการวิเคราะห์โครงสร้าง

การวิเคราะห์โครงสร้างสามารถใช้วิธีการคำนวณได้หลายหลายวิธี เช่น Slope Deflection Method, Moment Distribution Method, Matrix Analysis Method และ Finite Element Method อย่างไรก็ตามวิธีที่เหมาะสมกับการคำนวณ และการนำเสนอรูปแบบการคำนวณที่สอดคล้องกับการใช้ MS. Excel ในโปรแกรมนี้เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบ Moment Distribution Method สำหรับระเบียบวิธีการคำนวณ ศึกษาเพิ่มเติมจากภาคผนวก และเนื้อหาวิชาการวิเคราะห์โครงสร้าง

4.การประยุกต์ใช้ MS. Excel ในการวิเคราะห์โครงสร้างท่อลอดสี่เหลี่ยม

ตารางคำนวณของ MS. Excel สามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์โครงสร้างท่อลอดสี่เหลี่ยมได้เป็นอย่างดี อีกทั้งตารางคำนวณยังใช้ในการวิเคราะห์ทบทวนเปรียบเทียบได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ผ่านส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ส่วนข้อมูลนำเข้า(Data Input)
- ส่วนขบวนการวิเคราะห์โครงสร้าง (Process: Structural Analysis)
- ส่วนผลลัพธ์(Output: Shear and Bending Moment)

4.1.ส่วนข้อมูลนำเข้า(Data Input)

โปรแกรมสามารถให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลของมิติของท่อลอดได้ ทั้งขนาดความกว้าง(\$B_0\$) ความสูง(\$H_0\$) ความหนาของส่วนโครงสร้างต่างๆ น้ำหนักจากล้อของบรรทุก และ พารามิเตอร์อื่นๆที่ใช้ในการคำนวณ โดยช่องให้เติมที่เตรียมให้ในโปรแกรม ในรูปที่ 3 (คำอธิบายเพิ่มเติมในภาคผนวก) เป็นส่วนที่ผู้ใช้เปลี่ยนข้อมูลได้ตามต้องการ

Q18	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Structural Analysis for Shallow Box Culvert by using Moment Distribution Method								
2	Project	SIAM							Instruction
3	Member	BC-1							
4	Engineer	WCK							
5									
6	$h_1 = 1.35$								
7	$W_t = 2.90$								
8	$B_0 = 3.300$								
9									
10									
11	DATA INPUT								
12	$H_0 =$	2.825	m. c/c	Span AB					
13	$B_0 =$	3.300	m. c/c	Span AD					
14	Thickness	AD =	0.35	m (Bottom)					
15		DC =	0.30	m (Wall)					

รูปที่ 3 ตารางคำนวณส่วนข้อมูลนำเข้า

4.2. ส่วนขบวนการวิเคราะห์โครงสร้าง (Process: Structural Analysis)

ข้อมูล และแรงกระทำต่างๆถูกนำเข้ามาสู่ ขบวนการการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้วิธี Moment Distribution Method โดยเริ่มจากการนำแรงต่างๆ มาหา Fixed End-moment, Relative Stiffness และ Distribution Factor นำมาผ่านขบวนการการวิเคราะห์ที่แสดงใน Moment Distribution Table เพื่อที่จะกระจายโมเมนต์เข้าสู่การสมดุลทาง โครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
32	PROCESS:								
33	Structural Analysis								
34	Fixed-end moment								
35	$FEM_{AB} = FEM_{DC} = H_o (2P_{u1} + 3P_{u2}) / 60$								1.924 T-m.
36	$FEM_{BA} = FEM_{CD} = H_o (3P_{u1} + 2P_{u2}) / 60$								1.567 T-m.
37	$FEM_{BC} = FEM_{CB} = (2(P_{u1} + D_1 B_1) B_1^3 + P_{u2} W_1 (3B_1^2 - W_1^2)) / (24B_1)$								
38									
39	$FEM_{DA} = FEM_{DB} = (P_u B_1^3) / 12$								5.286 T-m.
40	Relative stiffness(modified)		$m_{AD} = 0.042875$	$K_{AD,DA} =$					0.013
41			$m_{DC} = 0.027000$	$K_{DC,CD} =$					0.010
42			$m_{CB} = 0.027000$	$K_{CB,BC} =$					0.005
43			$m_{BA} = 0.027000$	$K_{BA,AB} =$					0.010
44	Distribution factor								
45			DA : DC			CD : CB			
46			AD : AB			BA : BC			
46	0.5762	0.4238			0.5338	0.4612			
47	Moment distribution table								
48			Joint D		Joint C		Joint B		Joint A
49		DA	DC	CD	CB	BC	BA	AB	AD
50	FEM.	5.93316	-1.92383	1.56686	-5.28602	5.28602	-1.56686	1.92383	-5.93316
51	DM.	-2.31003	-1.69931	2.00379	1.71536	-1.71536	-2.00379	1.69931	2.31003
52	COM.	1.15501	1.00189	-0.84965	-0.85768	0.85768	0.84965	-1.00189	-1.15501
53	DM.	-1.24273	-0.91418	0.91987	0.78747	-0.78747	-0.91987	0.91418	1.24273
54	COM.	0.62136	0.45994	-0.45709	-0.39373	0.39373	0.45709	-0.45994	-0.62136
55	DM.	-0.62300	-0.45830	0.45840	0.39242	-0.39242	-0.45840	0.45830	0.62300
56	COM.	0.31150	0.22920	-0.22915	-0.19621	0.19621	0.22915	-0.22920	-0.31150
57	DM.	-0.31153	-0.22917	0.22917	0.19619	-0.19619	-0.22917	0.22917	0.31153
58	COM.	0.15577	0.11459	-0.11459	-0.09809	0.09809	0.11459	-0.11459	-0.15577
59	DM.	-0.15577	-0.11459	0.11459	0.09809	-0.09809	-0.11459	0.11459	0.15577
60	Sum M	3.53375	-3.53375	3.64221	-3.64221	3.64221	-3.64221	3.53375	-3.53375

รูปที่ 4 ตารางคำนวณส่วนขบวนการวิเคราะห์โครงสร้าง

4.3. ส่วนผลลัพธ์ (Output: Shear and Bending Moment)

ผลลัพธ์ที่ได้จากขบวนการทางวิเคราะห์ โครงสร้างทำให้ทราบค่าของโมเมนต์ที่ปลายของแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้าง ในส่วนนี้ให้ค่าตำแหน่งที่

เกิดโมเมนต์สูงสุดในชิ้นส่วนทั้งค่าบวก และค่าลบ และ แสดงผลลัพธ์ของแรงเฉือนสูงสุด ที่เป็นค่าที่ ต้องการส่งผ่านไปยังขบวนการการออกแบบต่อไป

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
63	OUTPUT : Moment and Shear of each members								
64	Wall								
65			$S_{AB} = (2P_{u1} + P_{u2}) \times 6 H_o / (M_{AB} + M_{BA}) H_o =$						4.30 Tons
66			$S_{BA} = -(P_{u1} + 2P_{u2}) \times 6 H_o / (M_{AB} + M_{BA}) H_o =$						-3.11 Tons
67					$M_{AB} =$				-3.53 T-m.
68					$M_{BA} =$				-3.64 T-m.
69					Distance at Moment Max				1.28 m.
70					$M_{max} =$				-0.95 T-m.
71	Top slab								
72					$S_{BC} = -S_{CB} =$				8.89 Tons
73					$M_{BC} =$				-3.64 T-m.
74					$M_{CB} =$				-3.64 T-m.
75					$M_{max} =$				4.36 T-m. at mid.
76	Bottom slab								
77					$S_{DA} = -S_{AD} =$				10.79 Tons
78					$M_{DA} =$				-3.53 T-m.
79									

รูปที่ 5 ตารางคำนวณส่วนผลลัพธ์

5. สรุป และ ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมนี้ได้ถูกพัฒนา และตรวจสอบ ผลลัพธ์กับเอกสารอ้างอิงหมายเลขที่ 1 ให้ค่าการ เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ถูกต้อง และผ่านการทดลอง ใช้ ปรับปรุงด้านความถูกต้อง และความสวยงาม จึง กล่าวได้ว่าการประยุกต์ใช้ตารางคำนวณจาก ไมโครซอฟท์ เอ็กเซล สำหรับการวิเคราะห์ โครงสร้างของบอลลอดสี่เหลี่ยมแบบเดี่ยวนี้ สามารถ ใช้งานได้ง่าย ถูกต้อง และรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ตารางคำนวณนี้แสดงเพียงส่วนการวิเคราะห์ โครงสร้าง ยังสามารถเขียนโปรแกรมเสริมในส่วน การออกแบบ หรือร่างแบบแปลนเพื่อการก่อสร้างได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัย มุกตพันธ์ และ คาซุโตะ นาคาซาวา, 2531. ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก, สำนักพิมพ์ ดวงกลม กรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก โปรแกรมการวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับท่อลอดสี่เหลี่ยม

Structural Analysis for Shallow Box Culvert by using Moment Distribution Method

Project SIAM ข้อมูลที่ให้ผู้ใช้กรอกจะเป็นอักขรสีแดงในโปรแกรม Instruction

Member BC-1

Engineer WCK

ความลึกจากผิวดินถึงกึ่งกลางท่อด้านบน

DATA INPUT

$H_0 =$	2.825 m. c/c	Span AB	ความสูงของท่อลอดจากกึ่งกลางท่อด้านบนไปยังด้านล่าง
$B_0 =$	3.300 m. c/c	Span AD	ความกว้างของท่อลอดจากกึ่งกลางท่อด้านข้างซ้ายไปยังด้านขวา
Thickness AD. =	0.35 m.(Bottom)		
DC. =	0.30 m.(Wall)		ความหนาของท่อด้านล่าง
CB. =	0.30 m.(Top)	Unit weight of RC.	$\gamma_c =$ 2.5 tcm.
BA. =	0.30 m.	Unit weight of soil	$\gamma_s =$ 1.9 tcm.
Truck Data		น้ำหนักล้อรถบรรทุก ต้น/ล้อ	$k_o =$ 0.5
Wt. Wheel P =	8 Tons/Wheel		$\alpha =$ 1.0
Width $W_t =$	2.75 m.		Impact factor I = 0.3
Wheel Width $W_w =$	0.2 m.	ความกว้างรถบรรทุก	

$P_{I+i} = 2xP(1+i)/W_t$	=	7.564 tsm.
$P_{v1} = P_{I+i}/(2h+W_w)$	=	2.909 tsm.
$P_{vd1} = \alpha \gamma_s h_2$	=	2.280 tsm.
$D_1 = 3.60x0.30x2.50$	=	2.700 Tons (Wt. of Top Slab)
$D_2 = 2x2.53x0.30x2.50$	=	3.788 Tons (Wt. of Walls)
$D_1/B_0 = 2.70/3.30$	=	0.818 tsm.
$P_{vd1} + D1/B0 =$	=	3.098 tsm.
$P_{hd1} = k_o \gamma_s h_1'$	=	1.283 tsm.
$P_{hd2} = k_o \gamma_s h_2'$	=	3.966 tsm.
$P_{v2} = P_{vd1} + (D_1 + D_2 + P_{I+i})/B_0$	=	6.538 tsm.

PROCESS:**Structural Analysis****Fixed -end moment**

$$FEM_{AB} = FEM_{DC} = H_0^2(2P_{hd1}+3P_{hd2})/60 = 1.924 \text{ T-m.}$$

$$FEM_{BA} = FEM_{CD} = H_0^2(3P_{hd1}+2P_{hd2})/60 = 1.567 \text{ T-m.}$$

$$FEM_{BC} = FEM_{CB} = (2(P_{vd1}+D_1/B_0)B_0^3+P_{v1}W_1(3B_0^2-W_1^2))/(24B_0) = 5.286 \text{ T-m.}$$

$$FEM_{DA} = FEM_{AD} = (P_{v2}B_0^2)/12 = 5.933 \text{ T-m.}$$

Relative stiffness(modified)

$$mI_{AD} = 0.042875 \quad K_{AD,DA} = 0.013$$

$$mI_{DC} = 0.027000 \quad K_{DC,CD} = 0.010$$

$$mI_{CB} = 0.027000 \quad K_{CB,BC} = 0.008$$

$$mI_{BA} = 0.027000 \quad K_{BA,AB} = 0.010$$

Distribution factor

$$DA : DC \quad CD : CB$$

$$AD : AB \quad BA : BC$$

$$0.5762 \quad 0.4238 \quad 0.5388 \quad 0.4612$$

Moment distribution table

	Joint D		Joint C		Joint B		Joint A	
	DA	DC	CD	CB	BC	BA	AB	AD
FEM.	5.93316	-1.92383	1.56686	-5.28602	5.28602	-1.56686	1.92383	-5.93316
DM.	-2.31003	-1.69931	2.00379	1.71536	-1.71536	-2.00379	1.69931	2.31003
COM.	1.15501	1.00189	-0.84965	-0.85768	0.85768	0.84965	-1.00189	-1.15501
DM.	-1.24273	-0.91418	0.91987	0.78747	-0.78747	-0.91987	0.91418	1.24273
COM.	0.62136	0.45994	-0.45709	-0.39373	0.39373	0.45709	-0.45994	-0.62136
DM.	-0.62300	-0.45830	0.45840	0.39242	-0.39242	-0.45840	0.45830	0.62300
COM.	0.31150	0.22920	-0.22915	-0.19621	0.19621	0.22915	-0.22920	-0.31150
DM.	-0.31153	-0.22917	0.22917	0.19619	-0.19619	-0.22917	0.22917	0.31153
COM.	0.15577	0.11459	-0.11459	-0.09809	0.09809	0.11459	-0.11459	-0.15577
DM.	-0.15577	-0.11459	0.11459	0.09809	-0.09809	-0.11459	0.11459	0.15577
Sum M	3.53375	-3.53375	3.64221	-3.64221	3.64221	-3.64221	3.53375	-3.53375

OUTPUT : Moment and Shear of each members

Wall

$$S_{AB} = (2P_{hd2} + P_{hd1}) \times 6 / H_0 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_0 = 4.30 \text{ Tons}$$

$$S_{BA} = -(P_{hd2} + 2P_{hd1}) \times 6 / H_0 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_0 = -3.11 \text{ Tons}$$

$$M_{AB} = -3.53 \text{ T-m.}$$

$$M_{BA} = -3.64 \text{ T-m.}$$

$$\text{Distance at Moment Max} = 1.28 \text{ m.}$$

$$M_{max} = -0.95 \text{ T-m.}$$

Top slab

$$S_{BC} = -S_{CB} = 8.89 \text{ Tons}$$

$$M_{BC} = -3.64 \text{ T-m.}$$

$$M_{CB} = -3.64 \text{ T-m.}$$

$$M_{max} = 4.36 \text{ T-m. at mid.}$$

Bottom slab

$$S_{DA} = -S_{AD} = 10.79 \text{ Tons}$$

$$M_{AD} = -3.53 \text{ T-m.}$$

$$M_{DA} = -3.53 \text{ T-m.}$$

$$M_{max} = 5.37 \text{ T-m. at mid.}$$

พารามิเตอร์ที่มีได้นำเสนอในที่นี้สามารถศึกษาจากหนังสือ[1] และ สูตรในโปรแกรมได้
ค่าคำตอบที่ได้มีค่าเท่ากับเอกสารอ้างอิงหมายเลข [1] มีค่าต่างกันเพียงการปัดเศษ

*หมายเหตุตัวอย่างการคำนวณนี้ ได้ใช้ คย.จากหนังสือ ปลูกทีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก
ของ ศ. ดร.ชัย มุกตพันธ์ และ นาย คาซูโตะ นาคาซาวา[1]

ส่วนการวิเคราะห์โครงสร้างใช้ Moment Distribution Method

ประยุกต์ใช้ M.S. Excel โดย เฉลิมเกียรติ วงศ์วนิชทวี

เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาเท่านั้น สำหรับผู้สนใจโปรแกรม สามารถติดต่อได้ที่ pommy90@hotmail.com