

เอกสารอ้างอิง

1. Cohn , M.Z. , D.E. Grierson , " An Automatic Approach to the Analysis of Plastic Frame under Fixed and Variable Loading " The Structural Engineer , Vol. 49 , No. 7 pp. 291-297 , 1971
2. Grierson , D.E. and G.M.L. Gladwell , " Collapse Load Analysis Using Linearizing Programming , " Journal of the Structural Division , ASCE , Vol. 97 , No. STS , Proc. , pp. 1561-1573 May , 1971
3. Cohn , M.Z. , S.K. Ghosh , and S.R. Parimi , " Unified Approach to Theory of Plastic Structures , " Journal of the Engineering Mechanics Division , ASCE. Vol. 98 (EM5) pp 1133 - 1158 , 1972
4. Watwood , V.B. , " Mechanism Generation for Limit Analysis of Frames , " Journal of the Structural Division , ASCE , Vol. 109 (SR), pp. 1-15 , 1979
5. Teixeira De Freitas , J.A. , " An Efficient Simplex Method for the Limit Analysis of Structures , " Journal of Computers & Structures , Vol. 21 No. 6 pp. 1255-1265 , 1985
6. Adeli , H , and H. Chyou , " Microcomputer - Aided Optimal Plastic Design of Frame , " Journal of Computing in Civil Engineering , ASCE , Vol. 1 , No. 1 pp. 20 - 34 , 1987
7. Adeli , H , and H. Chyou , " Plastic Analysis of Irregular Frames on Microcomputers , " Journal of Computing & Structure , Vol. 23 , No. 2 pp 223 - 240 , 1986

8. Dorn , W.S. and H.J. Greenberg , " Linear Programming and Plastic Limit Analysis of Structures , " Quarterly of Applied Mathematics , Vol. 15 , pp. 155-167 , 1957
9. Home , M.R., and L.J. Morris , Plastic Design of Low-Rise Frames , Granada , London , 1981
10. Wang , C.K., " General Computer Program for Limit Analysis , " Journal of the Structural Division , ASCE , Vol. 89 , No. ST 6 , Proc , Paper 3719 , pp. 101-117 , Dec., 1963
11. สมคิด แก้วสนธิ , ลิเนียร์โปรแกรมหลักและการประยุกต์ , สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพมหานคร , 2530
12. วิโรจน์ เจริญเจริญพร , " การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีพลาสติกสำหรับโครงเหล็กข้อแฉ่ง " , วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2532
13. วิริยะ สารพา , " การวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครงเหล็กข้อแฉ่งด้วยวิธีพลาสติก " วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2535
14. ทักษิณ เทพชาตรี , การออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธีพลาสติก , ภาควิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15. ทักษิณ เทพชาตรี , พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , 2529
16. ณิชาน ลักณะประสิทธิ์ , การวิเคราะห์โครงสร้าง , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 2527

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้คอมพิวเตอร์กำหนดรูปร่างการเกิดกลไกวิบัติ

ขั้นตอนนี้จะใช้ค่ามุมหมุนที่จุดพลาสติก (Plastic Hinge Rotation) ที่ได้จากบทที่ 3 ช่วยในการกำหนดรูปร่างกลไกวิบัติ

1. การเปลี่ยนตำแหน่งในระนาบ (Two Dimension Translation)

ในการคำนวณการเปลี่ยนตำแหน่งในระนาบของข้อต่อ จะได้จากการรวมกันของการเคลื่อนที่ของระยะทางและการเคลื่อนที่ของมุมที่ต่างกันของจุดหมุนพลาสติก ในเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดรองรับไปถึงจุดข้อต่อ

1.1 การเคลื่อนที่ของระยะทาง

พิจารณารูปที่ ก.1 ในระนาบแกน X-Y จุด P สามารถเคลื่อนที่ไปจุด P' ได้ โดยเขียนเป็นสมการการเคลื่อนที่

$$x' = x + dx$$

$$y' = y + dy$$

สามารถจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์

$$(x' , y') = (x \ y) + (dx \ dy) \quad (ก-1)$$

1.2 การเคลื่อนที่ของมุมหมุน

พิจารณารูปที่ ก.2 จุด P สามารถหมุนด้วยมุม θ รอบจุดเริ่มต้น (origin) โดยกำหนดสมการการเคลื่อนที่ได้

$$x' = x \cos\theta - y \sin\theta$$

$$y' = x \sin\theta + y \cos\theta$$

สามารถจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์

$$(x', y') = (x \ y) \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (\text{ก-2})$$

มุมหมุนทวนเข็มนาฬิกา กำหนดให้มุมค่าเป็นบวก

1.3 ระบบแกนร่วมกันและเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปลี่ยนตำแหน่ง

เมตริกซ์ที่จะใช้แสดงการเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งมีทั้งการเคลื่อนที่ของระยะทาง และการเคลื่อนที่ของมุมหมุน จัดให้อยู่ในระบบแกนร่วมกัน ได้คือ

สมการ (ก-1) จัดรูปใหม่ คือ

$$(x' \ y' \ 1) = (x \ y \ 1) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ dx & dy & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{ก-3})$$

สมการ (ก-2) จัดรูปใหม่ คือ

$$(x' \ y' \ 1) = (x \ y \ 1) \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{ก-4})$$

ในการพิจารณาตัวอย่างการหมุนของวัตถุรอบจุด P_1 จำเป็นต้องใช้หลักการพื้นฐานในการเปลี่ยนตำแหน่งตามลำดับดังนี้

1. ย้ายจุด P_1 ไปที่จุดเริ่มต้น (origin)
2. การหมุน
3. ย้ายกลับไปจุด P_1 ตามตำแหน่งเดิม

เช่น P_1 มีโคออร์ดิเนต $(x_1, y_1, 1)$ และจุด P มีโคออร์ดิเนต $(x, y, 1)$
 หมุนรอบจุด P_1 ดังนั้นการเคลื่อนที่จะประกอบไปด้วย

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x & -y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_1 & y_1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ x_1(1-\cos\theta) + y_1\sin\theta & y_1(1-\cos\theta) - x_1\sin\theta & 1 \end{bmatrix}$$

ถ้าตำแหน่งของ $P(x, y, 1)$ สุดท้ายคือ $P'(x', y', 1)$ ดังนั้น

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ x_1(1-\cos\theta) + y_1\sin\theta & y_1(1-\cos\theta) - x_1\sin\theta & 1 \end{bmatrix}$$

หรือ

$$x' = x \cos\theta - y \sin\theta + x_1 - x_1 \cos\theta + y_1 \sin\theta \quad (\text{ก-5})$$

$$y' = y \sin\theta + x \cos\theta + y_1 - y_1 \cos\theta - x_1 \sin\theta$$

หลังจากที่ได้ค่ามุมหมุนของจุดพลาสติกที่หน้าตัดวิกฤตของกลไกวิบัติรวม ซึ่งได้จากบทที่ 3
 ระยะเวลาเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (ก-5)

ระยะเวลาเปลี่ยนตำแหน่งที่ได้ จะอ้างอิงกับที่จุดรองรับของโครงสร้าง จุดรองรับที่ใช้จะ
 เลือกจากระยะที่สั้นที่สุดระหว่างจุดรองรับถึงจุดข้อต่อที่กำลังพิจารณา

ยกตัวอย่างเช่น ในการคำนวณระยะเวลาเปลี่ยนตำแหน่งของจุดต่อที่ 13 ในรูปที่ (ก-3)

ลำดับแรกต้องพิจารณาดูจุดรองรับที่ใกล้ที่สุด ในที่นี้คือ จุดรองรับหมายเลขที่ 1 จากนั้นจะบันทึกหมายเลขของข้อต่อ ในเส้นทางที่สั้นที่สุด คือ หมายเลข 13 , 12 , 9 , 6 , 2 และ 1 เรียกวิธีนี้ว่า " Tree Method " ในแต่ละจุดข้อต่อ จะหาชิ้นส่วนของโครงสร้างมาเชื่อมและกำหนดไว้บนเส้นทาง และต่อจากนั้นตรวจสอบว่า จุดกลไกวิบัติเกิดขึ้นที่ปลายของชิ้นส่วนหรือไม่ และเมื่อรู้ค่ามุมหมุนที่จุดกลไกวิบัติทั้งระบบเส้นทางในการที่จะกำหนดรูปร่างแล้ว ระยะเวลาเปลี่ยนตำแหน่งของข้อต่อก็ได้จากหลักการข้างต้น ก็จะสามารถกำหนดเส้นทางในการที่จะกำหนดรูปร่างได้แล้ว ในที่นี้ คือ 13 , 12 , 9 , 6 , 2 และ 1 จากจุดรองรับหมายเลข 1 ถึงจุดข้อต่อหมายเลข 13 ตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. ส่วนหลัก (MODULE MAIN)

1.1 อ่านข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย

- ก. จำนวนของจุดข้อต่อ (NJ)
- ข. จำนวนชิ้นส่วน (NE)
- ค. จำนวนกลุ่มของชิ้นส่วนในโครงสร้าง (NSEC)
- ง. จำนวนของจุดรองรับชนิดหมุน (NHS)
- จ. จำนวนจุดรองรับทั้งหมด (NS)
- ฉ. สมมติค่า EW , t_0 ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1.2 ส่วนป้อนข้อมูล (MODULE INPUT)

- ก. โคออร์ดิเนตของจุดข้อต่อ (Joint Coordinates)
- ข. สภาพการรั้งของจุดข้อต่อ (Restraints)
- ค. หน้าที่บรรทุกที่จุดข้อต่อ
- ง. หมายเลขของจุดข้อต่อที่เป็นจุดรองรับ
- จ. ความต่อเนื่องของชิ้นส่วน (Member Connectivity) และชนิดของชิ้นส่วนตามพลาสติกโมเมนต์

1.3 เปลี่ยนไปที่ส่วนอื่นของโปรแกรม (Chain Module) ดังนี้ คือ

- ก. ส่วน CONN (MODULE CONN)
- ข. ส่วน GAUSS (MODULE GAUSS)
- ค. ส่วน DATA (MODULE DATA)

2. ส่วน CONN (MODULE CONN)
 - 2.1 สร้างเมตริกซ์ความต่อเนื่องในระบบโคออร์ดิเนตโกลบอล
(Generate the Global Connectivity Matrix)
 - 2.2 เปลี่ยนไปที่ส่วนอื่นของโปรแกรม (Chain Module)
 - ก. ส่วน CQ (Module CQ)
 - ข. ส่วน MODQA (Module MODGA)

3. ส่วน CQ (MODULE CQ)
 - 3.1 สร้างเมตริกซ์การแปลง (\tilde{a})
(Generate the Transformation Matrix)
 - 3.2 สร้างเมตริกซ์การแปลงโคออร์ดิเนต Q
(Generate the Matrix of Transformation Coordinates)

4. ส่วน MODGA (MODULE MODGA)
 - 4.1 คำนวณผลคูณเมตริกซ์ G
 - 4.2 หลักการปลดในชิ้นส่วนย่อย เพื่อที่จะหากลไกวิบัติ
 - 4.3 สร้างเมตริกซ์ G และ \tilde{a}

5. ส่วน GAUSS (MODULE GAUSS)
 - 5.1 สร้างฐานอิสระ (Generate the Independent Bases)
 - 5.2 สร้างกลไกวิบัติแบบอิสระพื้นฐานทั้งหมดของโครงสร้าง

6. ส่วน DATA (MODULE DATA)
 - 6.1 รวบรวมสัมประสิทธิ์ของเมตริกซ์ A
 - 6.2 เปลี่ยนไปส่วนอื่นของโปรแกรม (CHAIN MODULE)
 - ก. ส่วน SIMPLE (MODULE SIMPLE)

๗. ส่วน CALCUL (MODULE CALCUL)

7. ส่วน SIMPLE (MODULE SIMPLE)

- 7.1 หาค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก (Collapse Load Factor)
- 7.2 หาค่ามุมหมุนที่จุดพลาสติกของกลไกวิบัติรวมของโครงสร้าง
- 7.3 หาค่าตัวประกอบขนาด (Amplitudes) ของกลไกวิบัติแบบอิสระในการประกอบเป็นกลไกวิบัติรวม

8. ส่วน CALCUL (MODULE CALCUL)

- 8.1 คำนวณระสิทธิภาพเคลื่อนที่ของจุดข้อต่อ ตามค่าของมุมหมุนพลาสติกที่กลไกวิบัติรวม (Failure Mechanism)

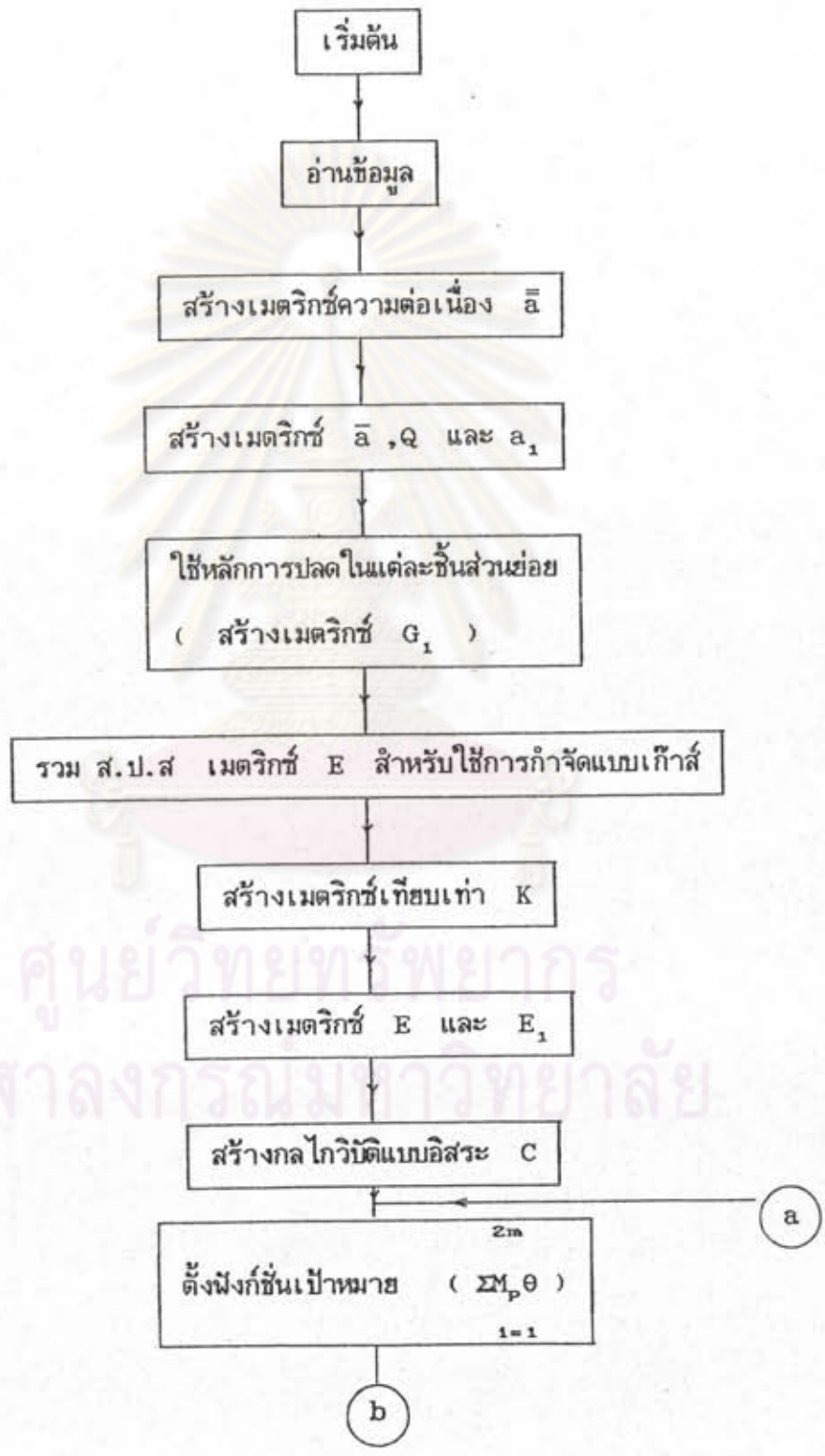
9. ส่วน GRAPH (MODULE GRAPH)

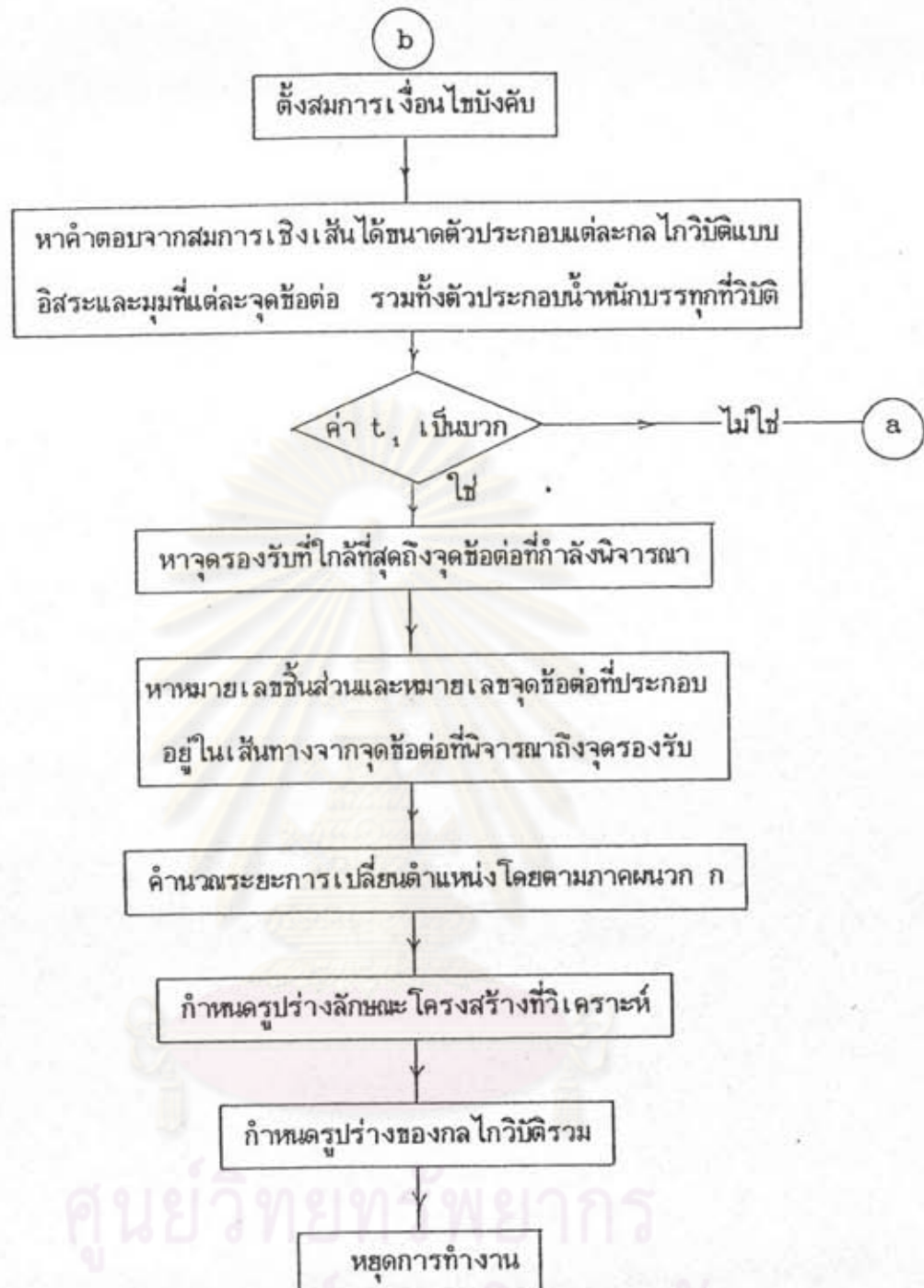
- 9.1 กำหนดรูปร่างของโครงสร้างในการวิเคราะห์รวมทั้งระบบน้ำหนักบรรทุก
- 9.2 กำหนดรูปร่างของกลไกวิบัติที่ฝัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม





ภาคผนวก ง.

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 1

	วิริยะ (13)	งานวิจัยนี้
ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุด- วิบัติของโครงสร้าง	7.547	8.026
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง	-	5.97

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 2

	Adeli & Chyou(2)	งานวิจัยนี้
ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุด- วิบัติของโครงสร้าง	1.00	1.00
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง	-	-

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของโครงสร้างในตัวอย่างที่ 3

	Adeli & Chyou (1)	งานวิจัยนี้
ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุด- วิบัติของ โครงสร้าง	6.260	6.267
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง	-	0.11

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของ โครงสร้าง ในตัวอย่างที่ 4

	Wang (10)	งานวิจัยนี้
ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่จุด- วิบัติของ โครงสร้าง	2.067	2.215
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง		6.7%



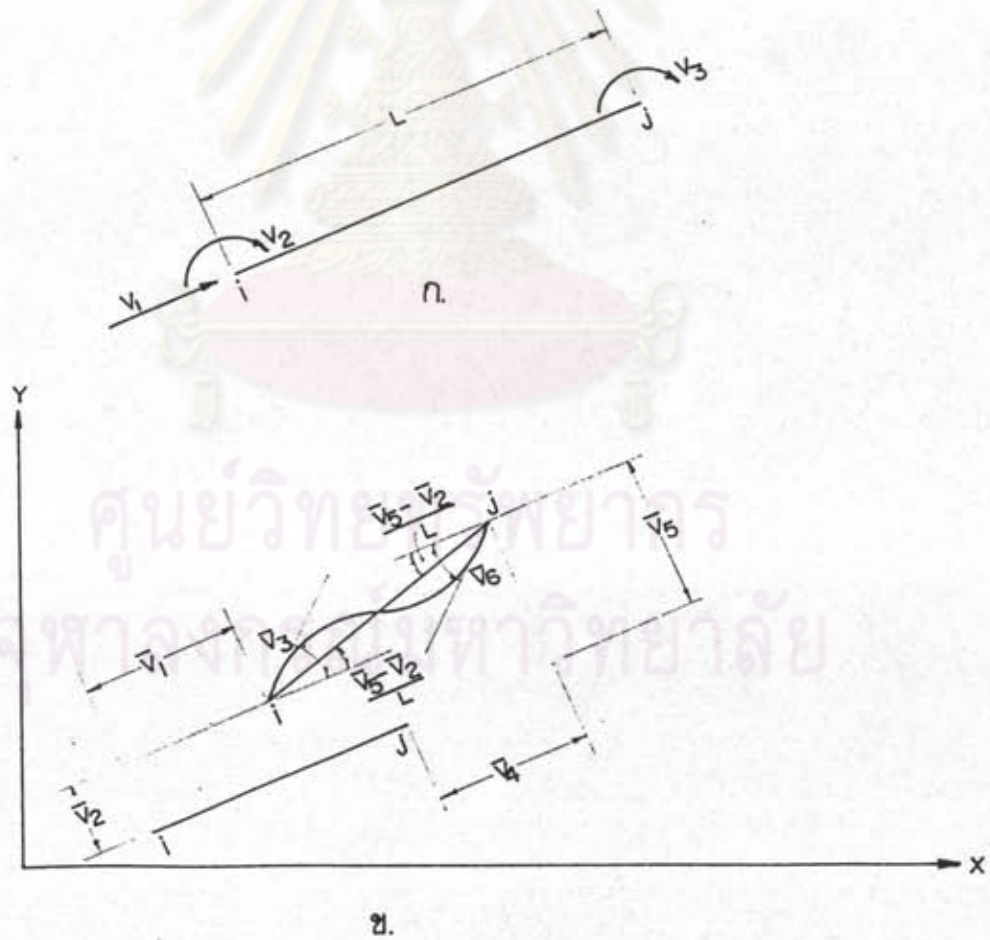
ภาคผนวก จ

รายการรูปประกอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

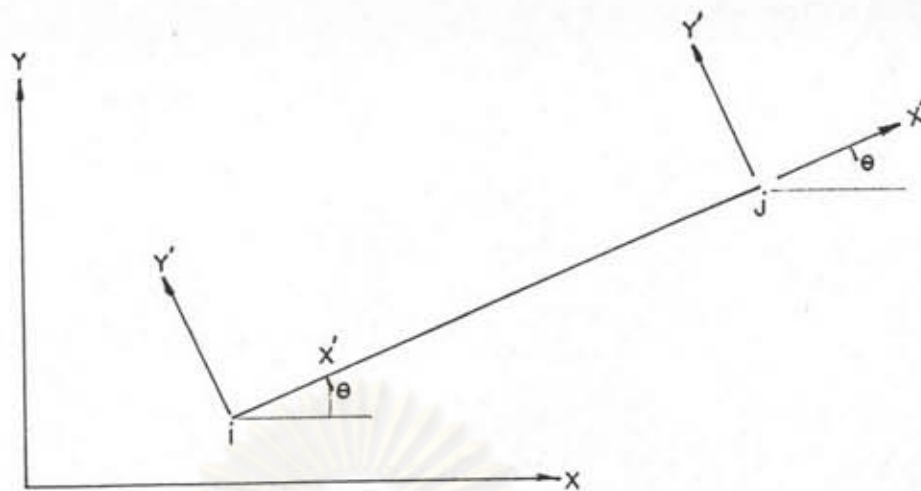


รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นส่วนในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว

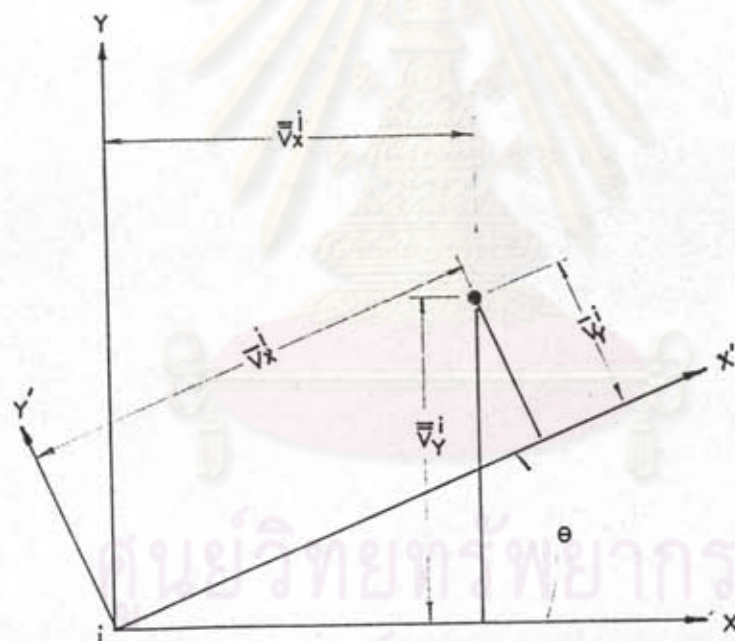


รูปที่ 2.2 ก. การเปลี่ยนรูปร่าง (อีสาระ) ในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว

ข. การเปลี่ยนตำแหน่งในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว

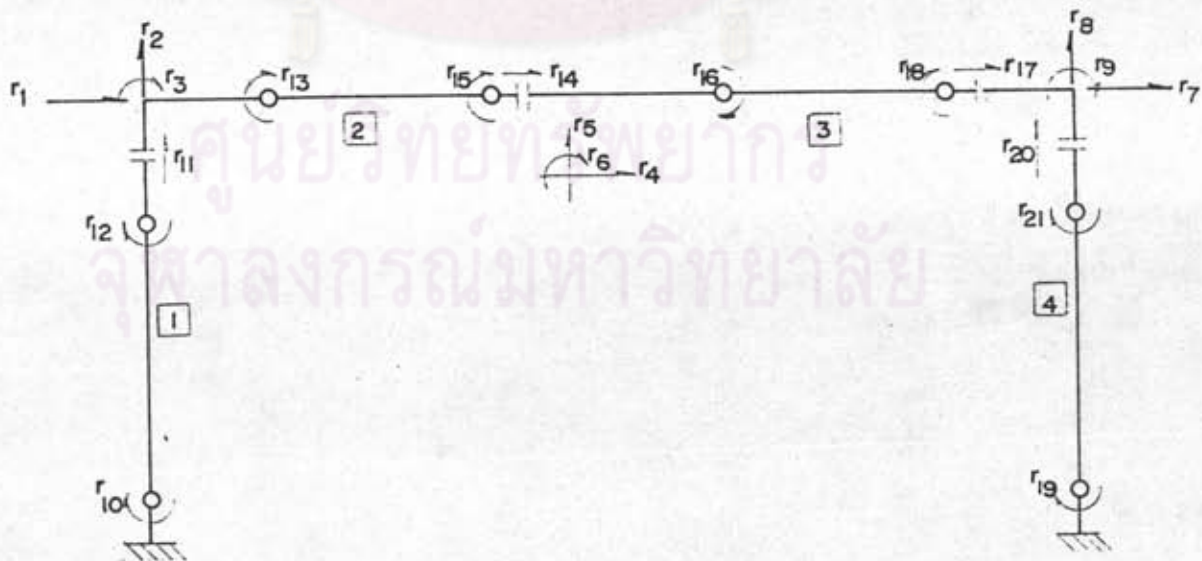
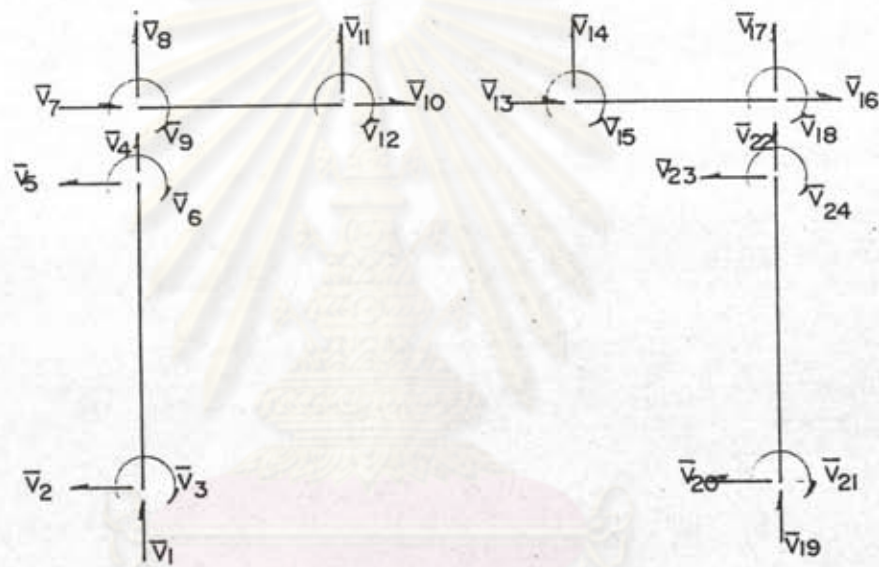
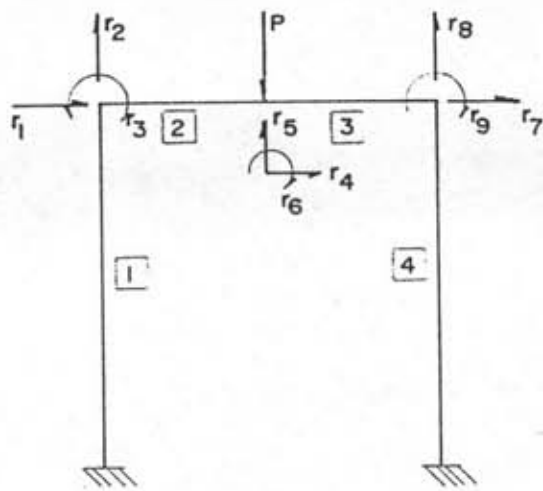


ก.

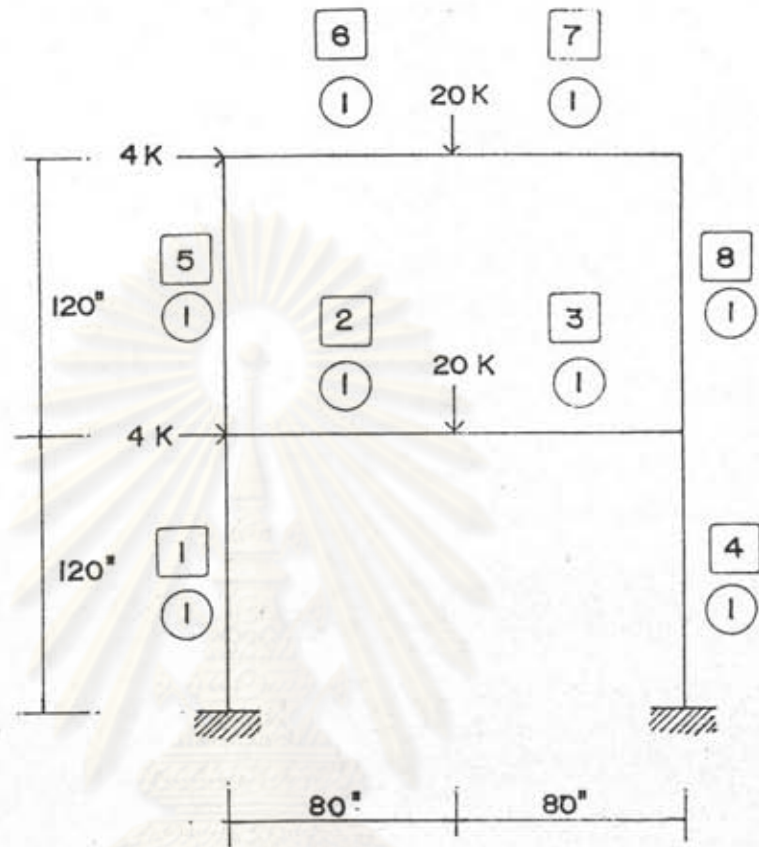


ข.

รูปที่ 2.3 ระบบโคออร์ดิเนตประจำตัวและระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล



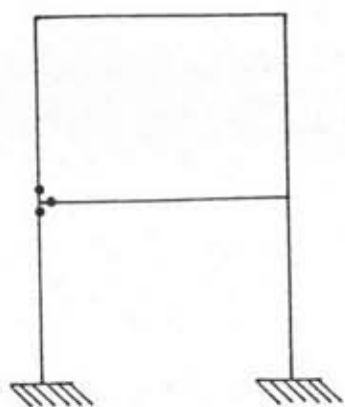
รูปที่ 2.4 การปลดในชิ้นส่วน



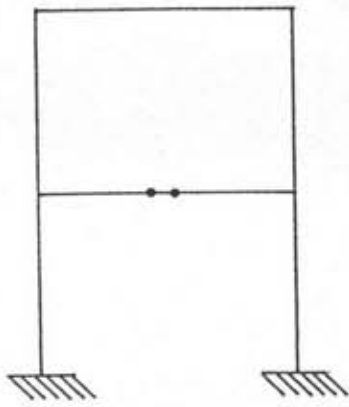
○ MEMBER TYPE
 □ MEMBER NO.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

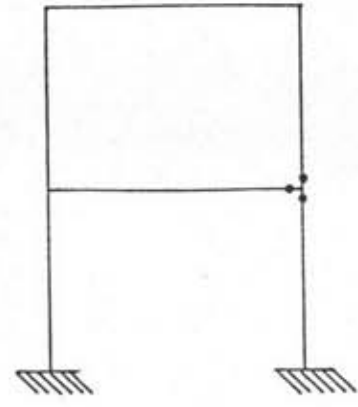
รูปที่ 4.1 ลักษณะของโครงสร้างและแรงกระทำในตัวอย่างที่ 1



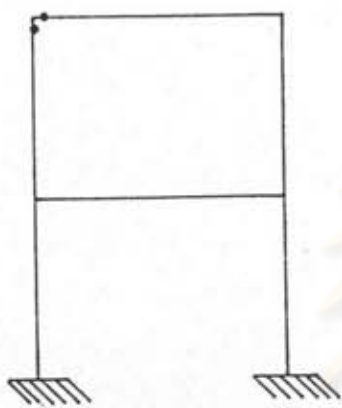
กลไกวิบัติที่ 1



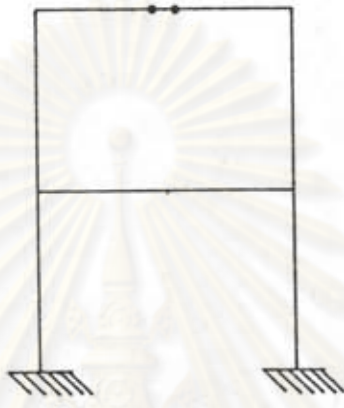
กลไกวิบัติที่ 2



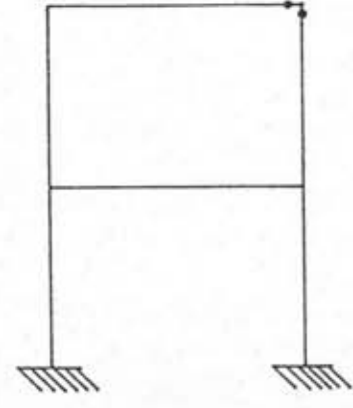
กลไกวิบัติที่ 3



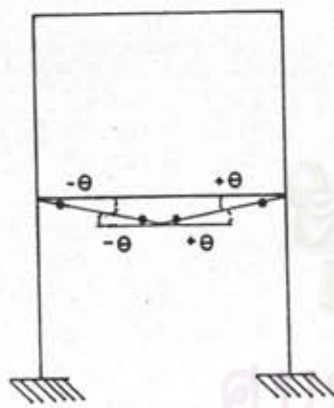
กลไกวิบัติที่ 4



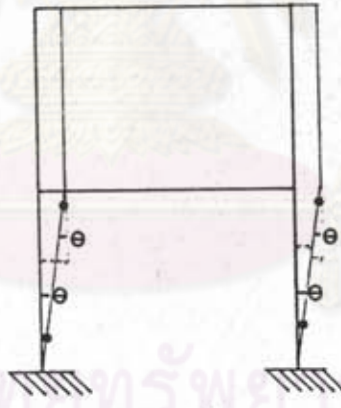
กลไกวิบัติที่ 5



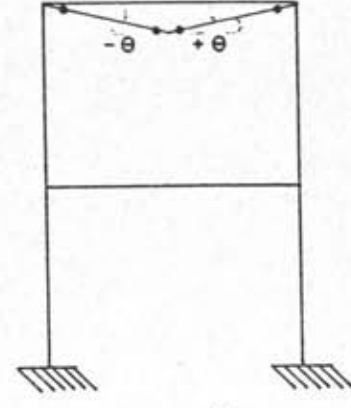
กลไกวิบัติที่ 6



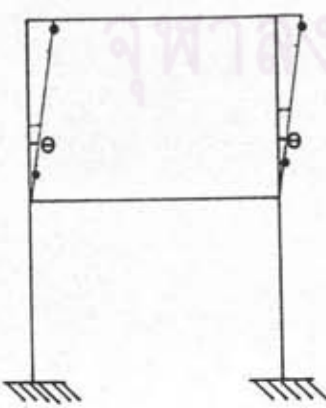
กลไกวิบัติที่ 7



กลไกวิบัติที่ 8

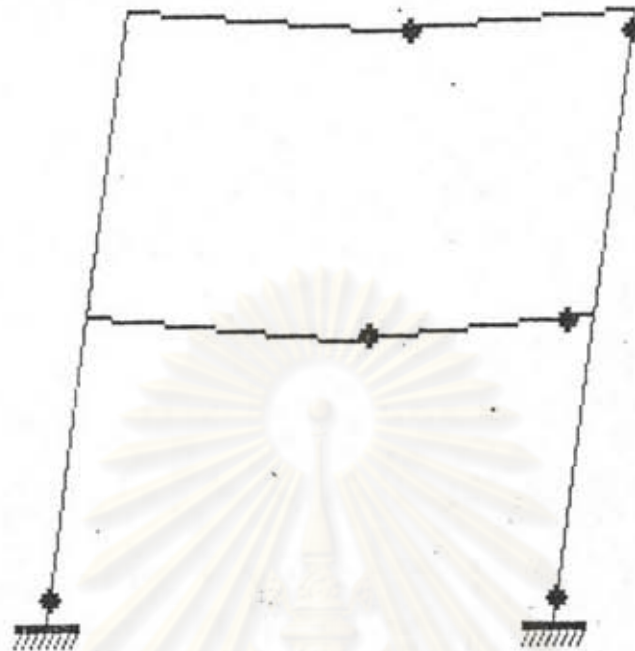


กลไกวิบัติที่ 9



กลไกวิบัติที่ 10

รูปที่ 4.2 รูปร่างและตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติแบบอิสระทั้ง 10 แบบ ในตัวอย่างที่ 1

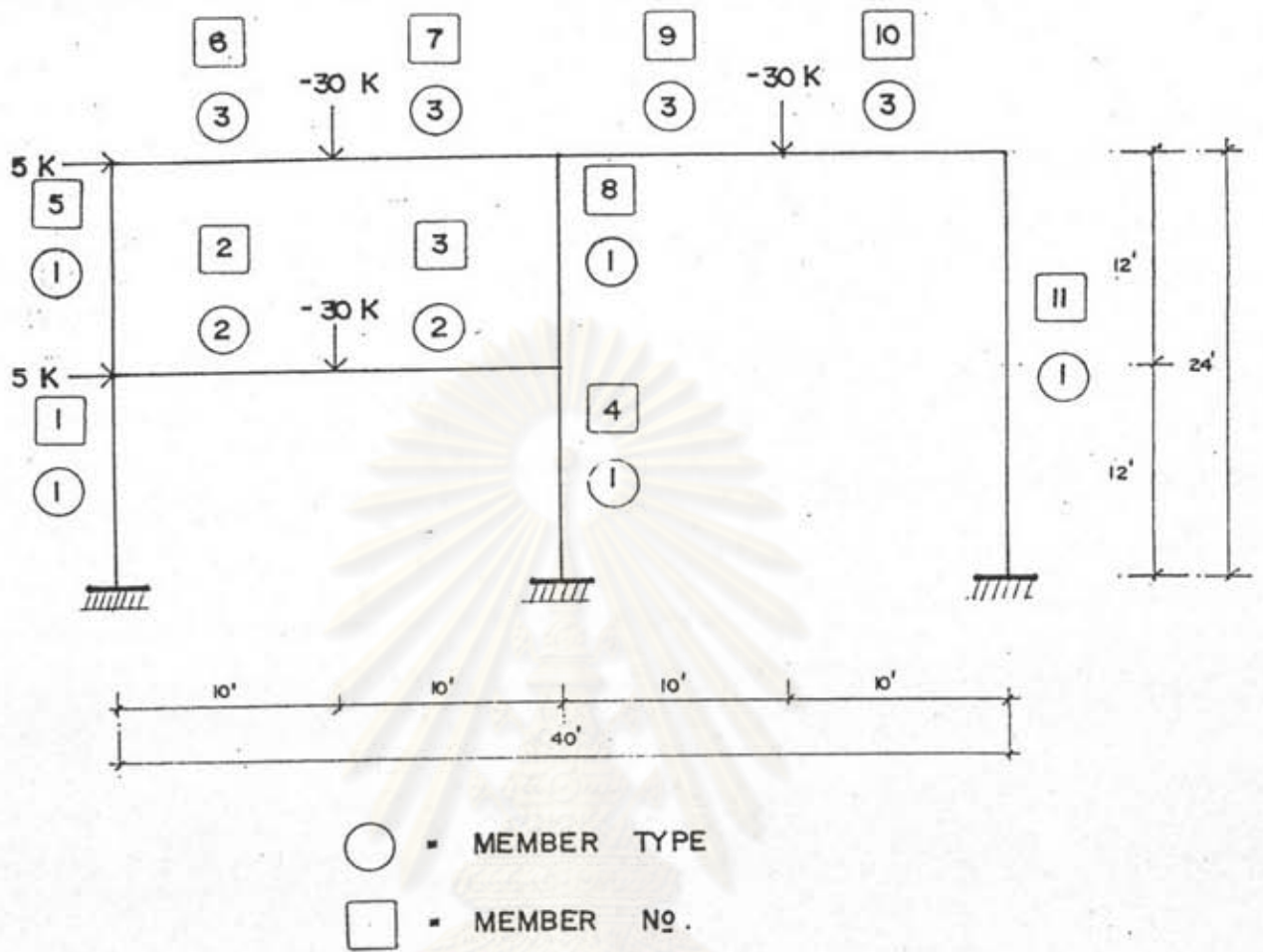


◆ = PLASTIC HINGE

*** FAILURE MECHANISM FOR EXAMPLE ***

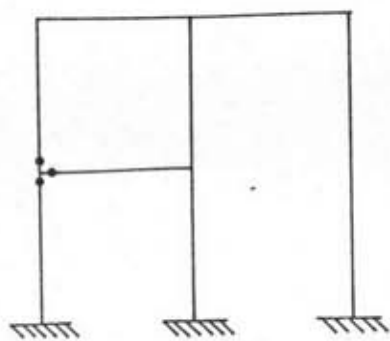
รูปที่ 4.3 ตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติรวมในตัวอย่างที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

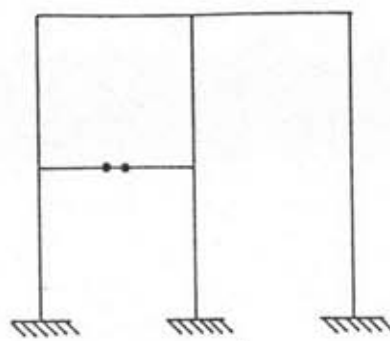


รูปที่ 4.4 ลักษณะของโครงสร้างและแรงกระทำในตัวอย่างที่ 2

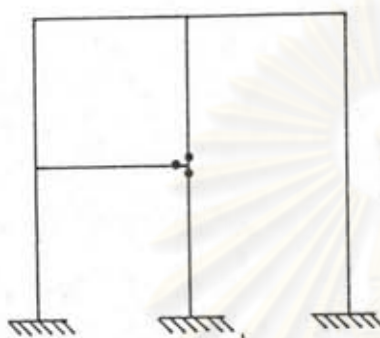
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



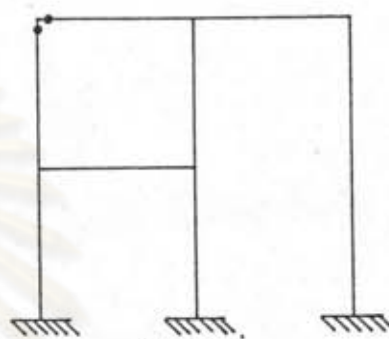
กลไกรับดีที่ 1



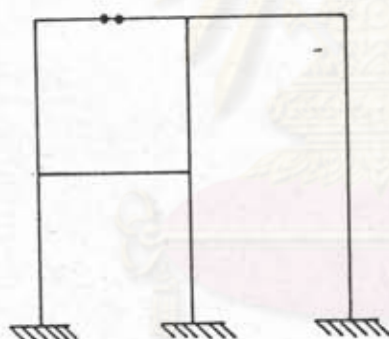
กลไกรับดีที่ 2



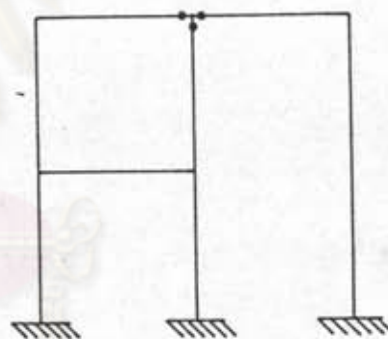
กลไกรับดีที่ 3



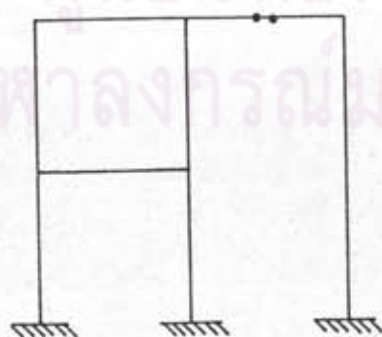
กลไกรับดีที่ 4



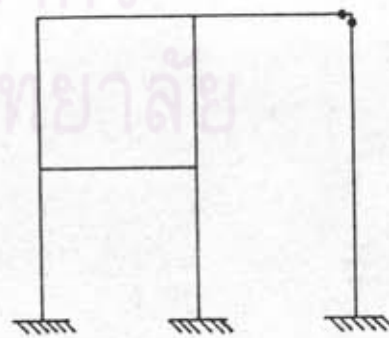
กลไกรับดีที่ 5



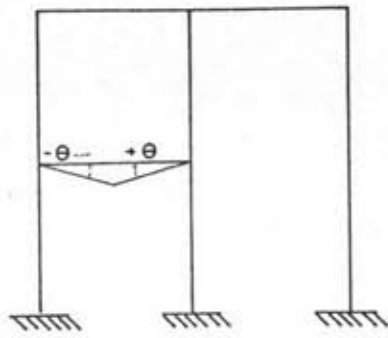
กลไกรับดีที่ 6



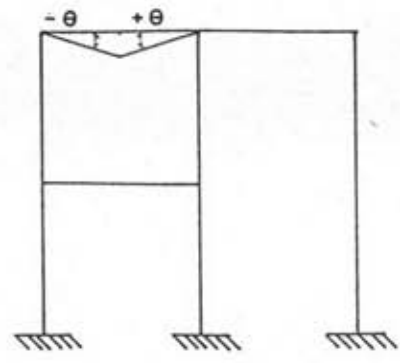
กลไกรับดีที่ 7



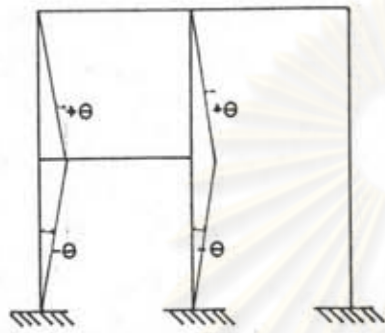
กลไกรับดีที่ 8



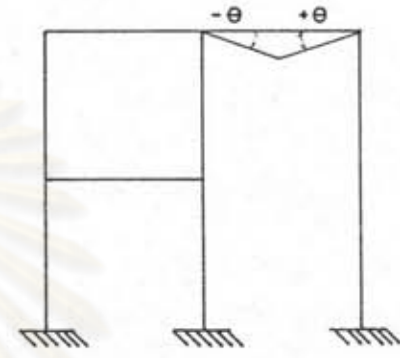
กลไกวิบัติที่ 9



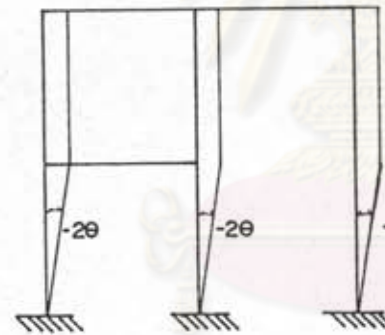
กลไกวิบัติที่ 10



กลไกวิบัติที่ 11

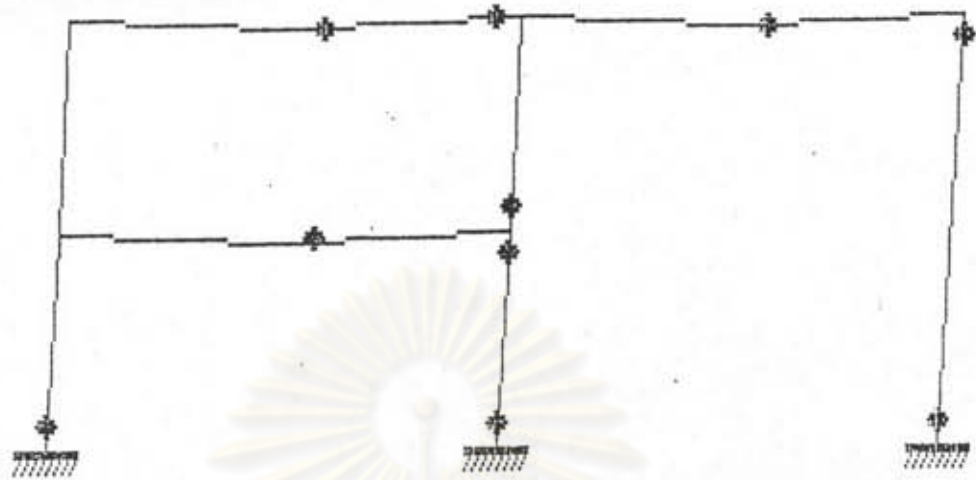


กลไกวิบัติที่ 12



กลไกวิบัติที่ 13

รูปที่ 4.5 รูปร่างและตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติแบบอิสระทั้ง 13 แบบ ในตัวอย่างที่ 2

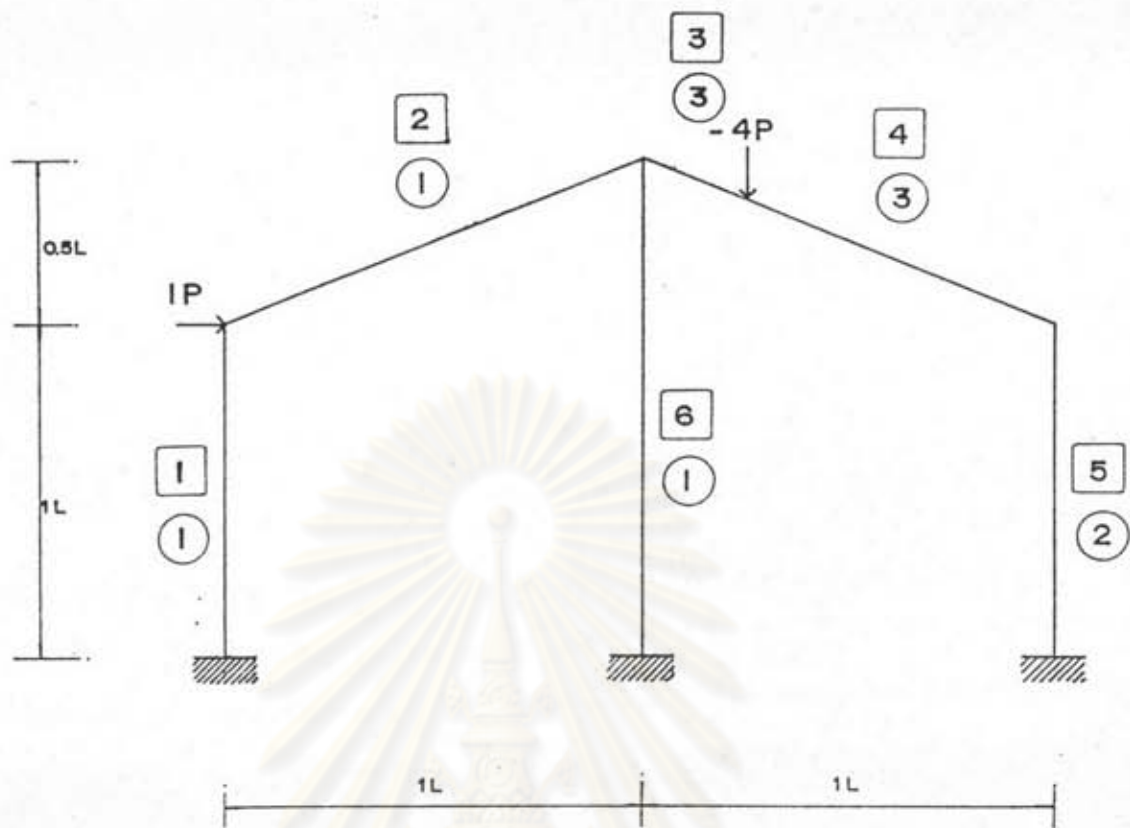


* = PLASTIC HINGE

*** FAILURE MECHANISM FOR EXAMPLE ***

รูปที่ 4.6 ตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติรวมในตัวอย่างที่ 2

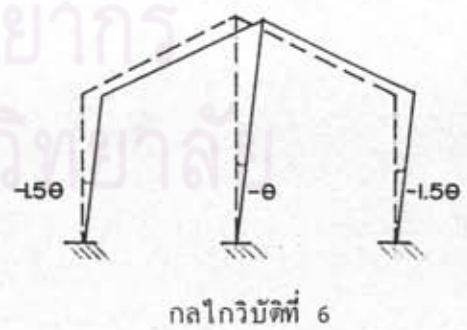
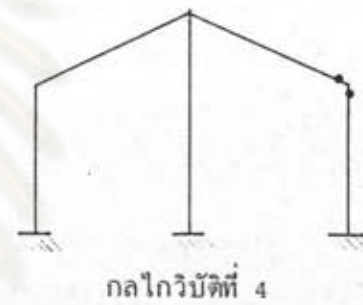
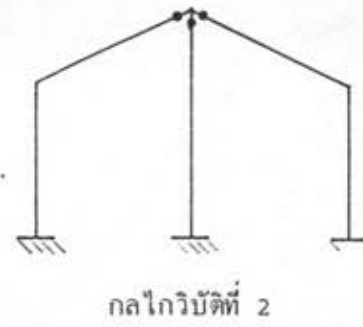
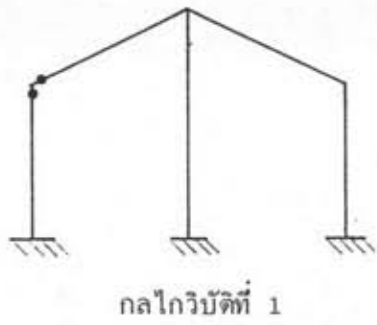
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



○ MEMBER TYPE
 □ MEMBER NO.

รูปที่ 4.7 ลักษณะของโครงสร้างและแรงกระทำในตัวอย่างที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 รูปร่างและตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวัด
แบบอิสระทั้ง 6 แบบ ในตัวอย่างที่ 3

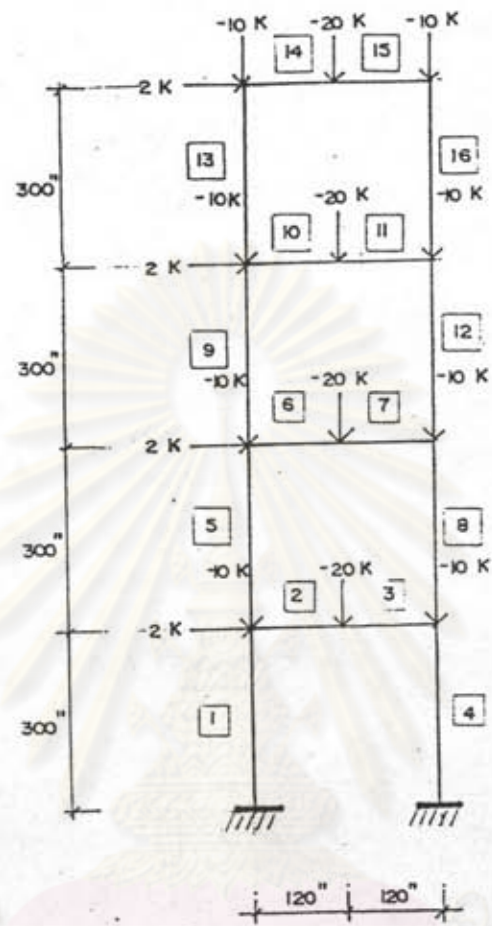


* = PLASTIC HINGE

*** FAILURE MECHANISM FOR EXAMPLE ***

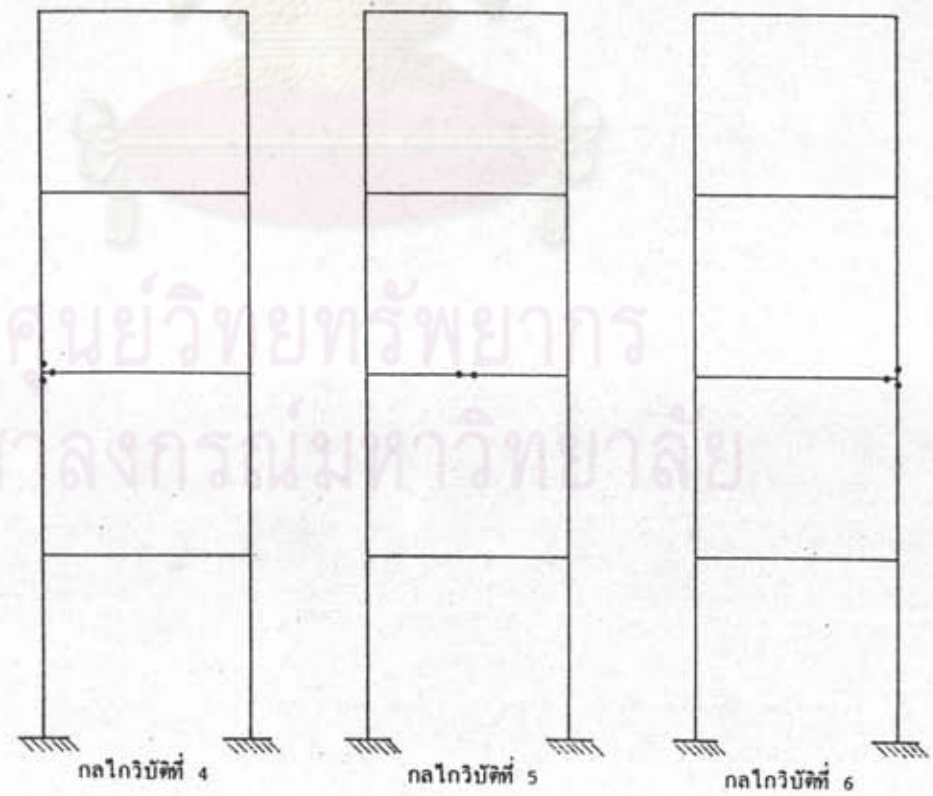
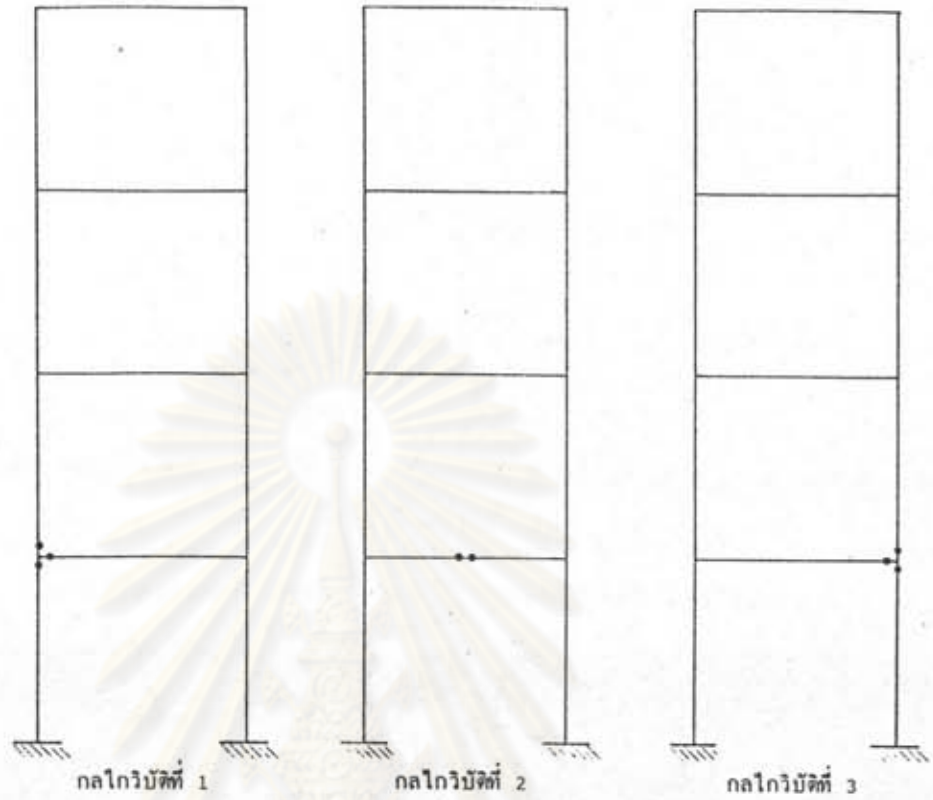
รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติรวมในตัวอย่างที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

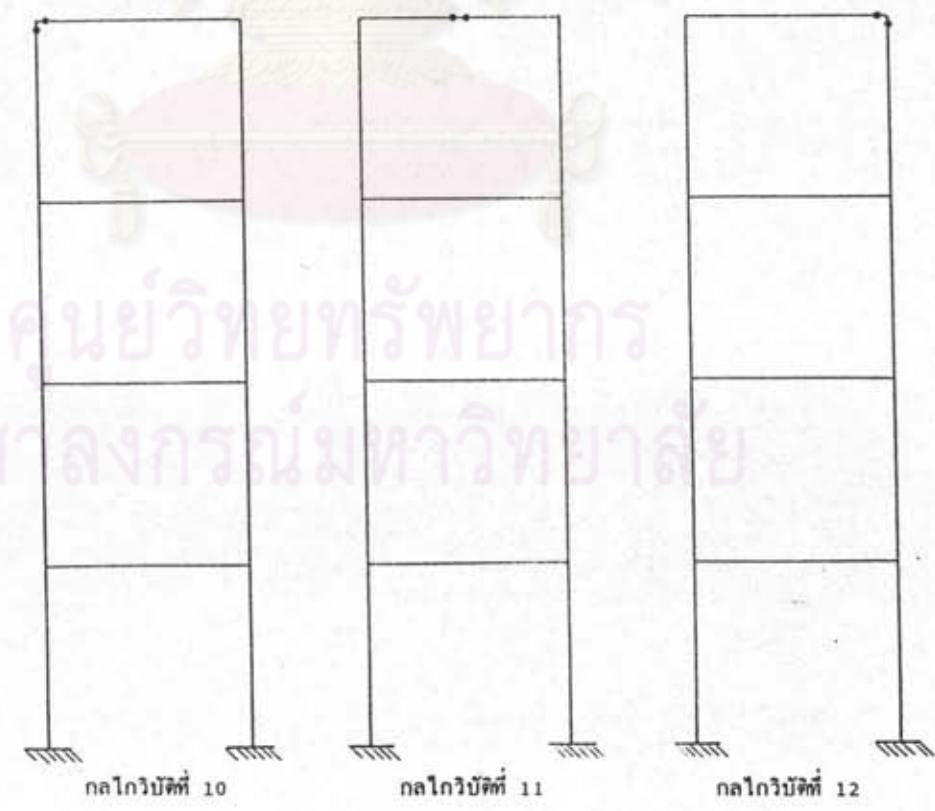
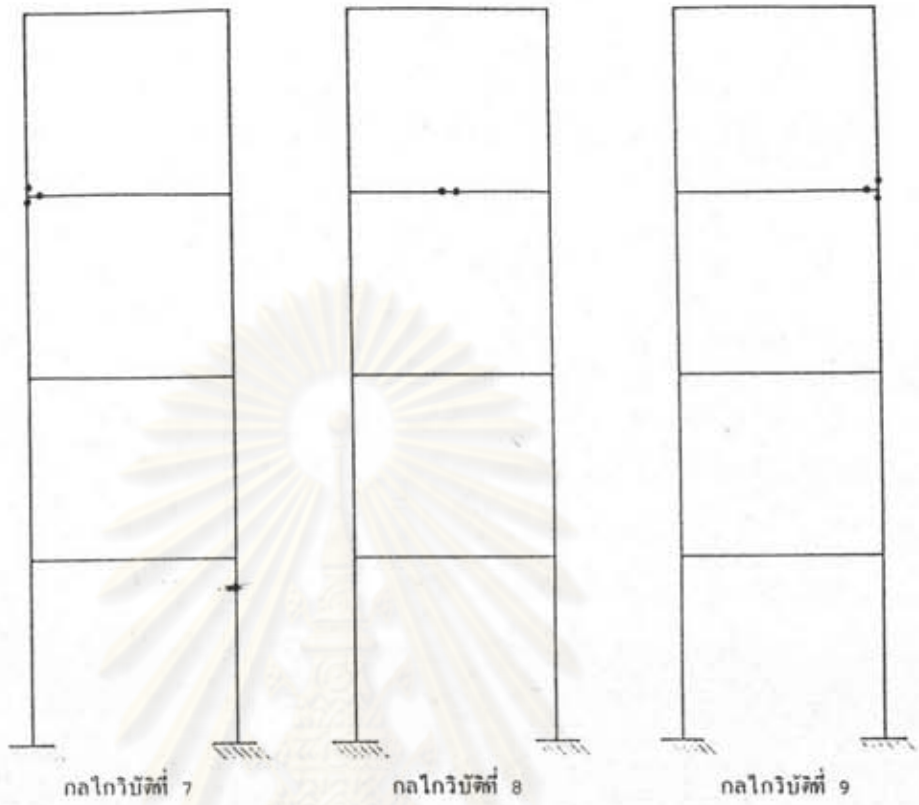


□ = MEMBER NO.

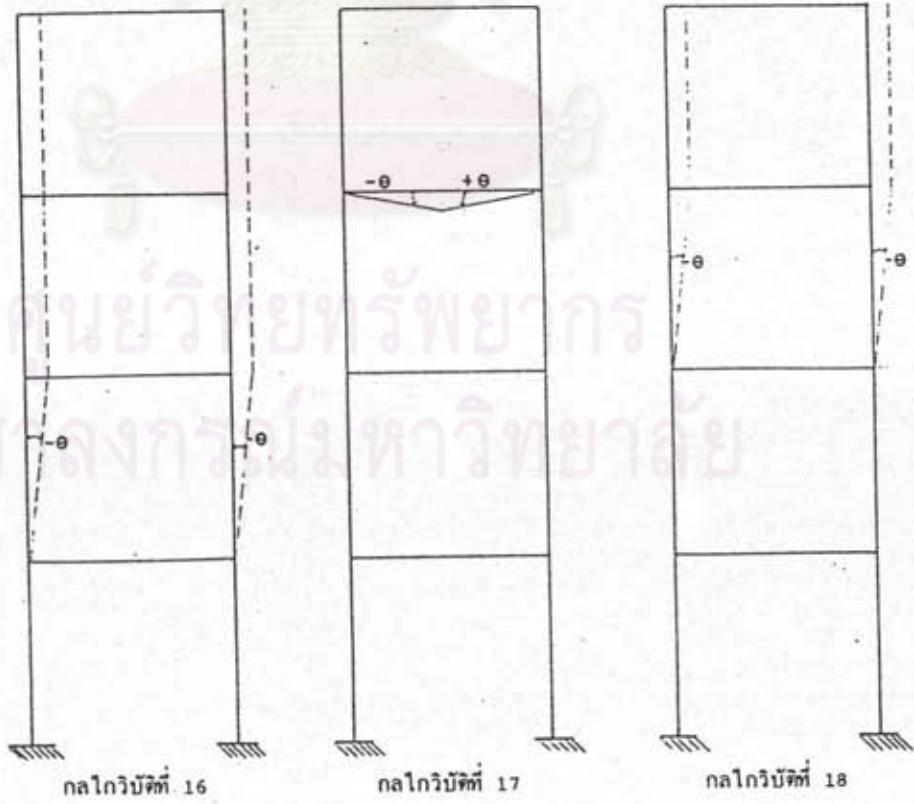
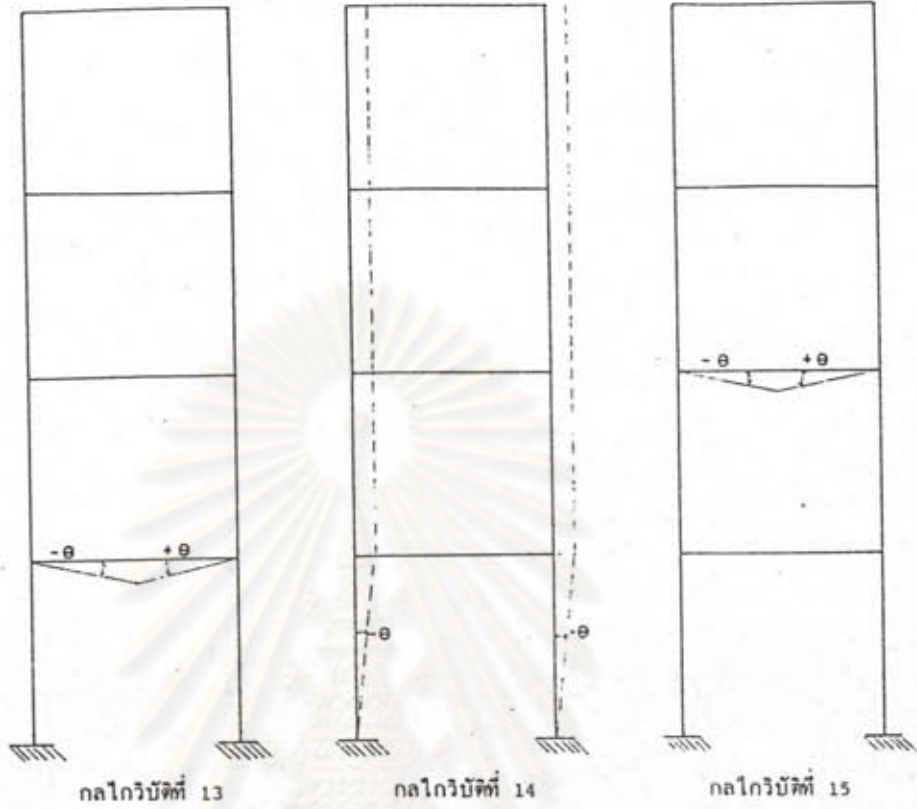
รูปที่ 4.10 ลักษณะของโครงสร้างและแรงกระทำในตัวอย่างที่ 4
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



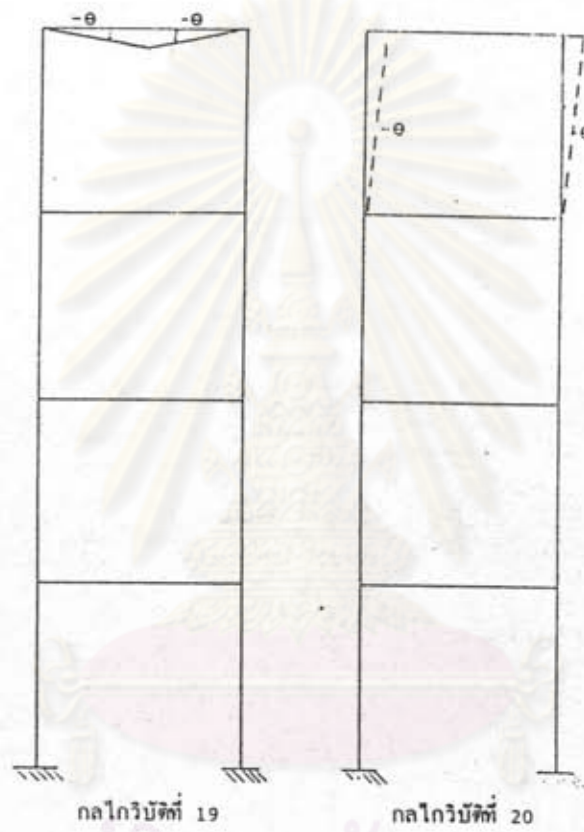
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.11 รูปร่างและตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกรับน้ำหนัก
แบบอิสระทั้ง 20 แบบ ในตัวอย่างที่ 4

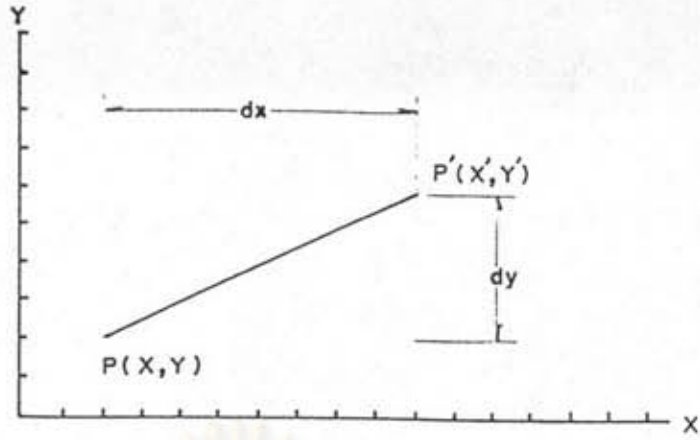


* = PLASTIC HINGE

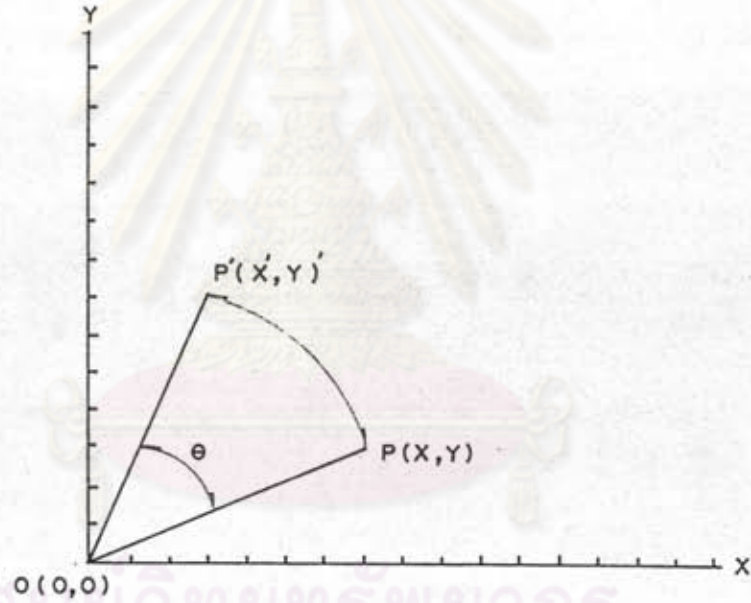
*** FAILURE MECHANISM FOR EXAMPLE 4***

รูปที่ 4.12 ตำแหน่งการเกิดจุดหมุนพลาสติกของกลไกวิบัติรวมในตัวอย่างที่ 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

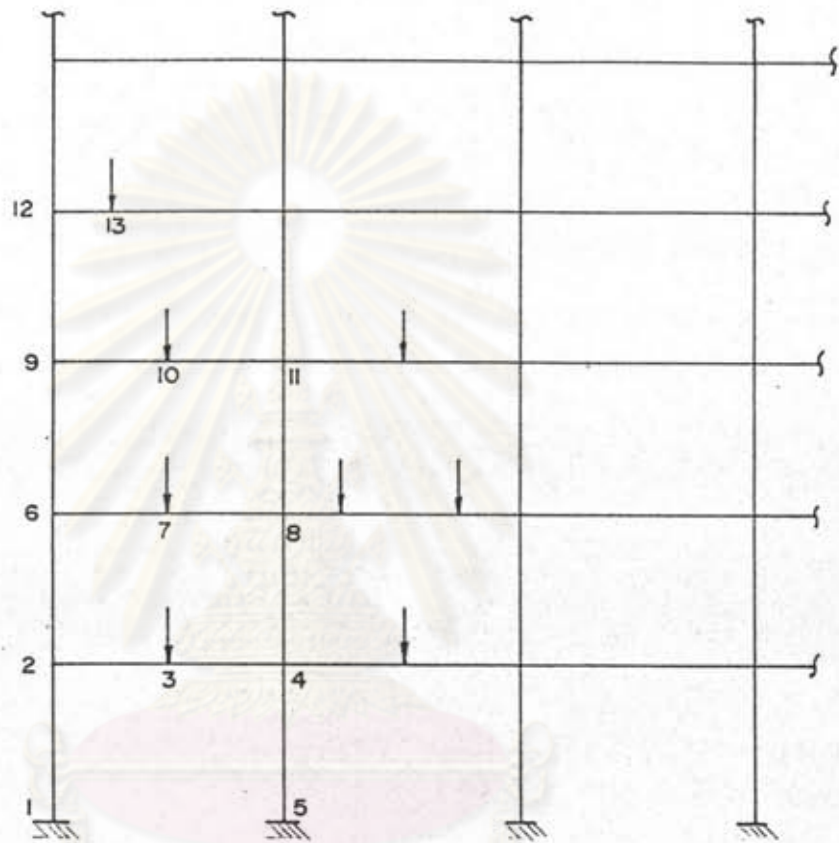


รูปที่ ก.1 การเคลื่อนที่ของจุด P



รูปที่ ก.2 การหมุนของจุด P รอบจุดเริ่มต้น (Origin)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.3 ภาพแสดงวิธีทรี (Tree method)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ฉ.

ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

~~~~ SUMMARY FOR INPUT DATA OF EXAMPLE 1 ~~~~

-----  
 NUMBER OF NODAL POINTS ----- = 8  
 NUMBER OF ELEMENTS ----- = 8  
 NUMBER OF DIFFERENT MEMBERS ----- = 1  
 NUMBER OF SUPPORTS ----- = 2  
 NUMBER OF HINGED SUPPORTS ----- = 0

\*\*\*\*\*

| JOINT NO. | BOUN. CONDITION |   |   | COORDINATES   |       |          | LOADING CONDITION |     |   |
|-----------|-----------------|---|---|---------------|-------|----------|-------------------|-----|---|
|           | X               | Y | Z | *** X         | Y *** |          | X                 | Y   | Z |
|           |                 |   |   | (inch) (inch) |       | ( Kip. ) |                   |     |   |
| 1         | 0               | 0 | 0 | 0             | 120   |          | 4                 | 0   | 0 |
| 2         | 0               | 0 | 0 | 80            | 120   |          | 0                 | -20 | 0 |
| 3         | 0               | 0 | 0 | 160           | 120   |          | 0                 | 0   | 0 |
| 4         | 0               | 0 | 0 | 0             | 240   |          | 4                 | 0   | 0 |
| 5         | 0               | 0 | 0 | 80            | 240   |          | 0                 | -20 | 0 |
| 6         | 0               | 0 | 0 | 160           | 240   |          | 0                 | 0   | 0 |
| 7         | 1               | 1 | 1 | 0             | 0     |          | 0                 | 0   | 0 |
| 8         | 1               | 1 | 1 | 160           | 0     |          | 0                 | 0   | 0 |

\*\*\*\*\*

| NUMBER OF MEMBER | CONNECTIVITY |            | MOMENT CAPACITIES |        |
|------------------|--------------|------------|-------------------|--------|
|                  | *** NODE-I   | NODE-J *** | NODE-I            | NODE-J |
| ( Kip.-In )      |              |            |                   |        |
| 1                | 7            | 1          | 3724.4            | 3724.4 |
| 2                | 1            | 2          | 3724.4            | 3724.4 |
| 3                | 2            | 3          | 3724.4            | 3724.4 |
| 4                | 8            | 3          | 3724.4            | 3724.4 |
| 5                | 1            | 4          | 3724.4            | 3724.4 |
| 6                | 4            | 5          | 3724.4            | 3724.4 |
| 7                | 5            | 6          | 3724.4            | 3724.4 |
| 8                | 3            | 6          | 3724.4            | 3724.4 |

THE NUMBER OF BASIC INDEPENDENT MECHANISMS = 10  
COEFFICIENT OF VIRTUAL ROTATION EQUILIBIUM

|         |   | BASIC MECHANISM 1 |        | BASIC MECHANISM 2 |        |
|---------|---|-------------------|--------|-------------------|--------|
|         |   | NODE-I            | NODE-J | NODE-I            | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0                 | -1     | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 2 | -1                | 0      | 0                 | -1     |
| ELEMENT | 3 | 0                 | 0      | -1                | 0      |
| ELEMENT | 4 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 5 | -1                | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 6 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 7 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 8 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |

|         |   | BASIC MECHANISM 3 |        | BASIC MECHANISM 4 |        |
|---------|---|-------------------|--------|-------------------|--------|
|         |   | NODE-I            | NODE-J | NODE-I            | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 2 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 3 | 0                 | -1     | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 4 | 0                 | -1     | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 5 | 0                 | 0      | 0                 | -1     |
| ELEMENT | 6 | 0                 | 0      | -1                | 0      |
| ELEMENT | 7 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 8 | -1                | 0      | 0                 | 0      |

|         |   | BASIC MECHANISM 5 |        | BASIC MECHANISM 6 |        |
|---------|---|-------------------|--------|-------------------|--------|
|         |   | NODE-I            | NODE-J | NODE-I            | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 2 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 3 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 4 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 5 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 6 | 0                 | -1     | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 7 | -1                | 0      | 0                 | -1     |
| ELEMENT | 8 | 0                 | 0      | 0                 | -1     |

|         |   | BASIC MECHANISM 7 |        | BASIC MECHANISM 8 |        |
|---------|---|-------------------|--------|-------------------|--------|
|         |   | NODE-I            | NODE-J | NODE-I            | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0                 | 0      | -1                | -1     |
| ELEMENT | 2 | -1                | -1     | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 3 | 1                 | 1      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 4 | 0                 | 0      | -1                | -1     |
| ELEMENT | 5 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 6 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 7 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |
| ELEMENT | 8 | 0                 | 0      | 0                 | 0      |

|           | BASIC MECHANISM 9 |        | BASIC MECHANISM 10 |        |
|-----------|-------------------|--------|--------------------|--------|
|           | NODE-I            | NODE-J | NODE-I             | NODE-J |
| ELEMENT 1 | 0                 | 0      | 0                  | 0      |
| ELEMENT 2 | 0                 | 0      | 0                  | 0      |
| ELEMENT 3 | 0                 | 0      | 0                  | 0      |
| ELEMENT 4 | 0                 | 0      | 0                  | 0      |
| ELEMENT 5 | 0                 | 0      | -1                 | -1     |
| ELEMENT 6 | -1                | -1     | 0                  | 0      |
| ELEMENT 7 | 1                 | 1      | 0                  | 0      |
| ELEMENT 8 | 0                 | 0      | -1                 | -1     |

VALUE OF AMPLITUDE FACTOR (  $T_i$  )

|      |   |            |
|------|---|------------|
| T 1  | = | -1.077E-01 |
| T 2  | = | -1.077E-01 |
| T 3  | = | -1.077E-01 |
| T 4  | = | -1.077E-01 |
| T 5  | = | -1.077E-01 |
| T 6  | = | 1.077E-01  |
| T 7  | = | 1.077E-01  |
| T 8  | = | 1.077E-01  |
| T 9  | = | 1.077E-01  |
| T 10 | = | 1.077E-01  |

COMBINED MECHANISM

|  | NODE-I | NODE-J |
|--|--------|--------|
|--|--------|--------|

|           |     |     |
|-----------|-----|-----|
| ELEMENT 1 | YES | 0   |
| ELEMENT 2 | 0   | 0   |
| ELEMENT 3 | YES | YES |
| ELEMENT 4 | YES | 0   |
| ELEMENT 5 | 0   | 0   |
| ELEMENT 6 | 0   | 0   |
| ELEMENT 7 | YES | 0   |
| ELEMENT 8 | 0   | YES |

YES = POSITION OF PLASTIC HINGE

~~ SUMMARY FOR COLLAPSE LOAD ANALYSIS OF EXAMPLE 1 ~~

\*\*\*\*\*

| MEMBER NO. | HINGE ROTATION(NODE-I)<br>( RAD.) | HINGE ROTATION(NODE-J)<br>( RAD.) |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|

|   |            |            |
|---|------------|------------|
| 1 | -1.077E-01 | 0.000E+00  |
| 2 | 0.000E+00  | 0.000E+00  |
| 3 | 2.155E-01  | -2.155E-01 |
| 4 | -1.077E-01 | 0.000E+00  |
| 5 | 0.000E+00  | 0.000E+00  |
| 6 | 0.000E+00  | 0.000E+00  |
| 7 | 2.155E-01  | 0.000E+00  |
| 8 | 0.000E+00  | 2.155E-01  |

COLLAPSE LOAD FACTOR FOR EXAMPLE 1 IS :8.026E+00

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก ช.

ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

~~~~ SUMMARY FOR INPUT DATA OF EXAMPLE 2 ~~~~

 NUMBER OF NODAL POINTS ----- = 11
 NUMBER OF ELEMENTS ----- = 11
 NUMBER OF DIFFERENT MEMBERS ----- = 3
 NUMBER OF SUPPORTS ----- = 3
 NUMBER OF HINGED SUPPORTS ----- = 0

| JOINT NO. | BOUN. CONDITION | | | COORDINATES | | | LOADING CONDITION | | | |
|-----------|-----------------|---|---|-------------|-------|-------|-------------------|----------|-----|---|
| | X | Y | Z | *** | X | Y | *** | X | Y | Z |
| | | | | | (FT.) | (FT.) | | (Kip.) | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 12 | | 5 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | | 10 | 12 | | 0 | -30 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | | 20 | 12 | | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 24 | | 5 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | | 10 | 24 | | 0 | -30 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | | 20 | 24 | | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | | 30 | 24 | | 0 | -30 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | | 40 | 24 | | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | | 20 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 1 | 1 | | 40 | 0 | | 0 | 0 | 0 |

NUMBER OF MEMBER CONNECTIVITY MOMENT CAPACITIES
(Kip.-Ft.)

| | *** NODE-I | NODE-J *** | NODE-I | NODE-J |
|----|------------|------------|--------|--------|
| 1 | 9 | 1 | 38.18 | 38.18 |
| 2 | 1 | 2 | 76.36 | 76.36 |
| 3 | 2 | 3 | 76.36 | 76.36 |
| 4 | 10 | 3 | 38.18 | 38.18 |
| 5 | 1 | 4 | 38.18 | 38.18 |
| 6 | 4 | 5 | 97.27 | 97.27 |
| 7 | 5 | 6 | 97.27 | 97.27 |
| 8 | 3 | 6 | 38.18 | 38.18 |
| 9 | 6 | 7 | 97.27 | 97.27 |
| 10 | 7 | 8 | 97.27 | 97.27 |
| 11 | 11 | 8 | 38.18 | 38.18 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE NUMBER OF BASIC INDEPENDENT MECHANISMS = 13
 COEFFICIENT OF VIRTUAL ROTATION EQUILIBIUM

| | | BASIC MECHANISM 1 | | BASIC MECHANISM 2 | |
|---------|----|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 3 | | BASIC MECHANISM 4 | |
|---------|----|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 5 | | BASIC MECHANISM 6 | |
|---------|----|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 7 | | BASIC MECHANISM 8 | |
|------------|--|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 3 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 5 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 6 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 7 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 8 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 9 | | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 10 | | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT 11 | | 0 | 0 | 0 | -1 |

| | | BASIC MECHANISM 9 | | BASIC MECHANISM 10 | |
|------------|--|-------------------|--------|--------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 2 | | -1 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 3 | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 5 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 6 | | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT 7 | | 0 | 0 | 1 | 1 |
| ELEMENT 8 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 9 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 10 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 11 | | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 11 | | BASIC MECHANISM 12 | |
|------------|--|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT 1 | | -1 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 3 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 4 | | -1 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 5 | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 6 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 7 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 8 | | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 9 | | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT 10 | | 0 | 0 | 1 | 1 |
| ELEMENT 11 | | 0 | 0 | 0 | 0 |

BASIC MECHANISM 13
 NODE-I NODE-J

| | | |
|------------|----|----|
| ELEMENT 1 | -2 | -2 |
| ELEMENT 2 | 0 | 0 |
| ELEMENT 3 | 0 | 0 |
| ELEMENT 4 | -2 | -2 |
| ELEMENT 5 | 0 | 0 |
| ELEMENT 6 | 0 | 0 |
| ELEMENT 7 | 0 | 0 |
| ELEMENT 8 | 0 | 0 |
| ELEMENT 9 | 0 | 0 |
| ELEMENT 10 | 0 | 0 |
| ELEMENT 11 | -1 | -1 |

VALUE OF AMPLITUDE FACTOR (T_i)

| | | |
|------|---|------------|
| T 1 | = | -9.259E-02 |
| T 2 | = | -9.259E-02 |
| T 3 | = | 9.259E-02 |
| T 4 | = | -9.259E-02 |
| T 5 | = | -9.259E-02 |
| T 6 | = | -9.259E-02 |
| T 7 | = | -9.259E-02 |
| T 8 | = | 9.259E-02 |
| T 9 | = | 9.259E-02 |
| T 10 | = | 9.259E-02 |
| T 11 | = | -9.259E-02 |
| T 12 | = | 9.259E-02 |
| T 13 | = | 9.259E-02 |

COMBINED MECHANISM
 NODE-I NODE-J

| | | |
|------------|-----|-----|
| ELEMENT 1 | YES | 0 |
| ELEMENT 2 | 0 | 0 |
| ELEMENT 3 | YES | 0 |
| ELEMENT 4 | YES | YES |
| ELEMENT 5 | 0 | 0 |
| ELEMENT 6 | 0 | 0 |
| ELEMENT 7 | YES | YES |
| ELEMENT 8 | YES | 0 |
| ELEMENT 9 | 0 | 0 |
| ELEMENT 10 | YES | 0 |
| ELEMENT 11 | YES | YES |

YES = POSITION OF PLASTIC HINGE

~~ SUMMARY FOR COLLAPSE LOAD ANALYSIS OF EXAMPLE 2 ~~

| MEMBER NO. | HINGE ROTATION(NODE-I)
(RAD.) | HINGE ROTATION(NODE-J)
(RAD.) |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | -9.259E-02 | 0.000E+00 |
| 2 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 3 | 1.852E-01 | 0.000E+00 |
| 4 | -9.259E-02 | 1.852E-01 |
| 5 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 6 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 7 | 1.852E-01 | -1.852E-01 |
| 8 | -1.852E-01 | 0.000E+00 |
| 9 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 10 | 1.852E-01 | 0.000E+00 |
| 11 | -9.259E-02 | 1.852E-01 |

COLLAPSE LOAD FACTOR FOR EXAMPLE 2 IS :1.000E+00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ.

ผลลัพธ์จาก โปรแกรมในตัวอย่างที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

~ SUMMARY FOR INPUT DATA OF EXAMPLE 3 ~

NUMBER OF NODAL POINTS ----- = 7

NUMBER OF ELEMENTS ----- = 6

NUMBER OF DIFFERENT MEMBERS ----- = 3

NUMBER OF SUPPORTS ----- = 3

NUMBER OF HINGED SUPPORTS ----- = 0

| JOINT NO. | BOUN. CONDITION | | | COORDINATES | | | LOADING CONDITION | | | |
|-----------|-----------------|---|---|-------------|-------|-------|-------------------|---|-------|---|
| | X | Y | Z | *** | X | Y | *** | X | Y | Z |
| | | | | | (L) | (L) | | | (P) | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 1 | | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 1.5 | | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | | 1.25 | 1.375 | | 0 | -4 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | | 2 | 1 | | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | | 2 | 0 | | 0 | 0 | 0 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NUMBER OF MEMBER

CONNECTIVITY

MOMENT CAPACITIES

(PL)

| | *** NODE-I NODE-J *** | | NODE-I NODE-J | |
|---|--------------------------|---|------------------|---|
| 1 | 5 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 5 | 7 | 4 | 2 | 2 |
| 6 | 6 | 2 | 1 | 1 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE NUMBER OF BASIC INDEPENDENT MECHANISMS = 6
 COEFFICIENT OF VIRTUAL ROTATION EQUILIBIUM

| | | BASIC MECHANISM 1 | | BASIC MECHANISM 2 | |
|---------|---|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | -1 |

| | | BASIC MECHANISM 3 | | BASIC MECHANISM 4 | |
|---------|---|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 5 | | BASIC MECHANISM 6 | |
|---------|---|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | -1.5 | -1.5 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | -3 | -3 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | -1.5 | -1.5 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | -1 | -1 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VALUE OF AMPLITUDE FACTOR (T_i)

| | | |
|-----|---|------------|
| T 1 | = | -6.000E+00 |
| T 2 | = | -4.000E+00 |
| T 3 | = | -4.000E+00 |
| T 4 | = | 1.333E+00 |
| T 5 | = | 1.333E+00 |
| T 6 | = | 4.000E+00 |

COMBINED MECHANISM
NODE-I NODE-J

| | | |
|-----------|-----|-----|
| ELEMENT 1 | YES | 0 |
| ELEMENT 2 | YES | YES |
| ELEMENT 3 | 0 | 0 |
| ELEMENT 4 | YES | 0 |
| ELEMENT 5 | YES | YES |
| ELEMENT 6 | YES | 0 |

YES = POSITION OF PLASTIC HINGE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

~~ SUMMARY FOR COLLAPSE LOAD ANALYSIS OF EXAMPLE 3 ~~

| MEMBER NO. | HINGE ROTATION(NODE-I)
(RAD.) | HINGE ROTATION(NODE-J)
(RAD.) |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|

| | | |
|---|------------|------------|
| 1 | -6.000E-01 | 0.000E+00 |
| 2 | 6.000E-01 | -4.000E-01 |
| 3 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 4 | 5.333E-01 | 0.000E+00 |
| 5 | -6.000E-01 | 7.333E-01 |
| 6 | -4.000E-01 | 0.000E-01 |

COLLAPSE LOAD FACTOR FOR EXAMPLE 3 IS :6.267E+00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ.

ผลลัพธ์จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 4



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

~ SUMMARY FOR INPUT DATA OF EXAMPLE 4 ~

 NUMBER OF NODAL POINTS ----- = 14
 NUMBER OF ELEMENTS ----- = 16
 NUMBER OF DIFFERENT MEMBERS ----- = 1
 NUMBER OF SUPPORTS ----- = 2
 NUMBER OF HINGED SUPPORTS ----- = 0

| JOINT NO. | BOUN. CONDITION | | | COORDINATES | | | LOADING CONDITION | | |
|-----------|-----------------|---|---|---------------|-------|--|-------------------|-----|---|
| | X | Y | Z | *** X | Y *** | | X | Y | Z |
| | | | | (INCH) (INCH) | | | (Kip.) | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | | 2 | -10 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 120 | 300 | | 0 | -20 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 240 | 300 | | 0 | -10 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 600 | | 2 | -10 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 120 | 600 | | 0 | -20 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 240 | 600 | | 0 | -10 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 900 | | 2 | -10 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 120 | 900 | | 0 | -20 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 240 | 900 | | 0 | -10 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1200 | | 2 | -10 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 120 | 1200 | | 0 | -20 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 240 | 1200 | | 0 | -10 | 0 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 240 | 0 | | 0 | 0 | 0 |

NUMBER OF MEMBER

CONNECTIVITY

MOMENT CAPACITIES

(Kip.-In.)

| | *** NODE-I NODE-J *** | | NODE-I NODE-J | |
|----|----------------------------|----|--------------------|------|
| | | | | |
| 1 | 13 | 1 | 1920 | 1920 |
| 2 | 1 | 2 | 1920 | 1920 |
| 3 | 2 | 3 | 1920 | 1920 |
| 4 | 14 | 3 | 1920 | 1920 |
| 5 | 1 | 4 | 1920 | 1920 |
| 6 | 4 | 5 | 1920 | 1920 |
| 7 | 5 | 6 | 1920 | 1920 |
| 8 | 3 | 6 | 1920 | 1920 |
| 9 | 4 | 7 | 1920 | 1920 |
| 10 | 7 | 8 | 1920 | 1920 |
| 11 | 8 | 9 | 1920 | 1920 |
| 12 | 6 | 9 | 1920 | 1920 |
| 13 | 7 | 10 | 1920 | 1920 |
| 14 | 10 | 11 | 1920 | 1920 |
| 15 | 11 | 12 | 1920 | 1920 |
| 16 | 9 | 12 | 1920 | 1920 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE NUMBER OF BASIC INDEPENDENT MECHANISMS = 20
 COEFFICIENT OF VIRTUAL ROTATION EQUILIBIUM

| | | BASIC MECHANISM 1 | | BASIC MECHANISM 2 | |
|---------|----|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 3 | | BASIC MECHANISM 4 | |
|---------|----|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 5 | | BASIC MECHANISM 6 | |
|---------|----|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 7 | | BASIC MECHANISM 8 | |
|---------|----|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 13 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 9 | | BASIC MECHANISM 10 | |
|---------|----|-------------------|--------|--------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 13 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 14 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| ELEMENT | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 16 | -1 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 11 | | BASIC MECHANISM 12 | |
|---------|----|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 14 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 15 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| ELEMENT | 16 | 0 | 0 | 0 | -1 |

| | | BASIC MECHANISM 13 | | BASIC MECHANISM 14 | |
|---------|----|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT | 2 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 15 | | BASIC MECHANISM 16 | |
|---------|----|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT | 6 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | BASIC MECHANISM 17 | | BASIC MECHANISM 18 | |
|---------|----|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 9 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT | 10 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 11 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 12 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| BASIC MECHANISM 19 | | | BASIC MECHANISM 20 | |
|--------------------|--------|--------|--------------------|--------|
| | NODE-I | NODE-J | NODE-I | NODE-J |
| ELEMENT 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ELEMENT 13 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| ELEMENT 14 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 15 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| ELEMENT 16 | 0 | 0 | -1 | -1 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE NUMBER OF BASIC INDEPENDENT MECHANISMS = 20

BASIC MECHANISM 1 BASIC MECHANISM 2
VALUE OF AMPLITUDE FACTOR (T_i)

| | | |
|------|---|------------|
| T 1 | = | -6.411E-01 |
| T 2 | = | -6.411E-01 |
| T 3 | = | -6.411E-01 |
| T 4 | = | -6.411E-01 |
| T 5 | = | -6.411E-01 |
| T 6 | = | -6.411E-01 |
| T 7 | = | -6.411E-01 |
| T 8 | = | -6.411E-01 |
| T 9 | = | -6.411E-01 |
| T 10 | = | -6.411E-01 |
| T 11 | = | -6.411E-01 |
| T 12 | = | 6.411E-01 |
| T 13 | = | 6.411E-01 |
| T 14 | = | 6.411E-01 |
| T 15 | = | 6.411E-01 |
| T 16 | = | 6.411E-01 |
| T 17 | = | 6.411E-01 |
| T 18 | = | 6.411E-01 |
| T 19 | = | 6.411E-01 |
| T 20 | = | 6.411E-01 |

COMBINED MECHANISM
NODE-I NODE-J

| | | |
|------------|-----|-----|
| ELEMENT 1 | YES | 0 |
| ELEMENT 2 | 0 | 0 |
| ELEMENT 3 | YES | YES |
| ELEMENT 4 | YES | 0 |
| ELEMENT 5 | 0 | 0 |
| ELEMENT 6 | 0 | 0 |
| ELEMENT 7 | YES | YES |
| ELEMENT 8 | 0 | 0 |
| ELEMENT 9 | 0 | 0 |
| ELEMENT 10 | 0 | 0 |
| ELEMENT 11 | YES | YES |
| ELEMENT 12 | 0 | 0 |
| ELEMENT 13 | 0 | 0 |
| ELEMENT 14 | 0 | 0 |
| ELEMENT 15 | YES | 0 |
| ELEMENT 16 | 0 | YES |

YES = POSITION OF PLASTIC HINGE

~~ SUMMARY FOR COLLAPSE LOAD ANALYSIS OF EXAMPLE 4 ~~

| MEMBER NO. | HINGE ROTATION(NODE-I)
(RAD.) | HINGE ROTATION(NODE-J)
(RAD.) |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | -6.411E-01 | 0.000E+00 |
| 2 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 3 | 1.282E+00 | -1.282E+00 |
| 4 | -6.411E-01 | 0.000E+00 |
| 5 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 6 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 7 | 1.282E+00 | -1.282E+00 |
| 8 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 9 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 10 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 11 | 1.282E+00 | -1.282E+00 |
| 12 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 13 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 14 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 15 | 1.282E+00 | 0.000E+00 |
| 16 | 0.000E+00 | -1.282E+00 |

COLLAPSE LOAD FACTOR FOR EXAMPLE 4 IS :2.215E+00

ประวัติผู้เขียน

นายชัชวาลิ แสงอร่าม เกิดเมื่อวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2509 ที่กรุงเทพฯ สำเร็จ
 การศึกษาได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยีพระ
 จอมเกล้า ธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2529 เข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
 มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2530



ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย