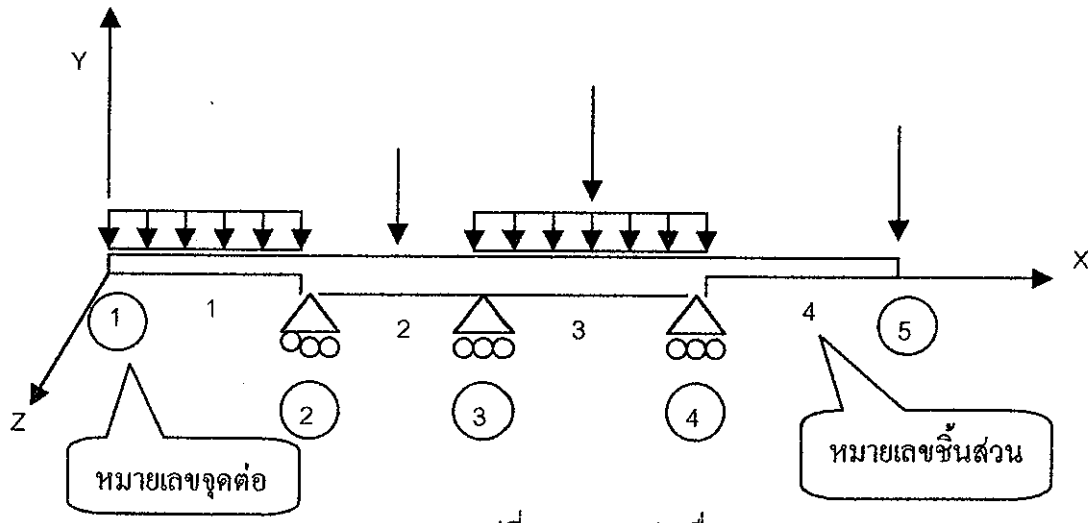
บทที่ 4
คู่มือการใช้โปรแกรม

4.1 การเขียนหมายเลขกำกับจุดต่อและชิ้นส่วน (Numbering of joints and members)

การเขียนหมายเลขกำกับจุดต่อและชิ้นส่วนควรเขียนอย่างมีระเบียบและเป็นระบบไม่วกไปเวียนมาซึ่งจะทำให้สับสนได้ง่าย แนวทางปฏิบัติที่ดีทางหนึ่งคือให้เขียนหมายเลขกำกับจุดต่อโดยเรียงหมายเลขตามลำดับ ส่วนการเขียนหมายเลขกำกับชิ้นส่วนควรเขียนหมายเลขชิ้นส่วนเรียงตามกันไปเป็นหมวดหมู่ ข้อควรจำสั้น ๆ ในการเขียนหมายเลขกำกับจุดต่อข้อหนึ่งคือ พยายามเขียนหมายเลขกำกับจุดต่อเพื่อให้ผลต่างระหว่างจุดต่อที่หัวและที่ปลายของชิ้นส่วนมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ความกว้างครึ่งแบนด์ของสตีฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้างมีค่าน้อยที่สุดด้วย ทำให้ประหยัดหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องจะทำการคำนวณได้เร็วขึ้นอีกด้วย ดังนั้นการกำหนดหมายเลขกำกับจุดต่อและชิ้นส่วนจะกำหนดให้เรียงลำดับจากซ้ายไปขวาดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 คานต่อเนื่อง

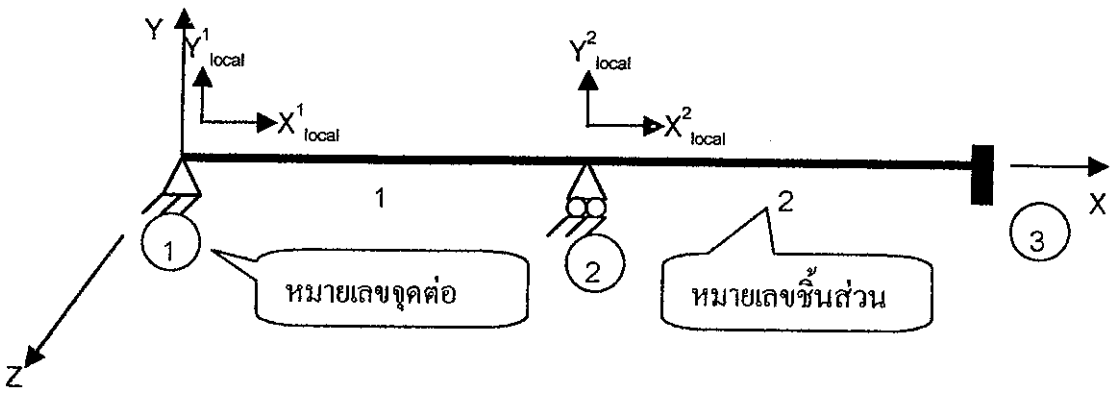
4.2 ระบบแกนโคออร์ดิเนต (Coordinate Systems)

ระบบแกนโคออร์ดิเนตที่ใช้ใน program ทุกอันเป็นแบบชนิดแกนตั้งฉาก (cartesian coordinates) โดยจำแนกออกเป็น 2 ระบบด้วยกัน คือ

1. ระบบแกนโคออร์ดิเนตของโครงสร้าง (Global coordinate system) ซึ่งเป็นระบบแกนโคออร์ดิเนตที่อยู่คงที่ซึ่งจะบอกทิศทางของแรงและการเปลี่ยนตำแหน่งที่ข้อต่อของโครงสร้างและลักษณะรูปร่างของโครงสร้าง
2. ระบบแกนโคออร์ดิเนตของชิ้นส่วน(Local coordinate system) ซึ่งเป็นระบบพิกัดฉากที่มีแกนใดแกนหนึ่ง ชี้ไปตามแกน *เซนต์ทรอย* ของชิ้นส่วน จากปลายข้างใกล้ไปหาปลายข้างไกลเสมอ ดูรูปที่ 4.2

โคออร์ดิเนตของจุดต่อ
แรงภายนอกซึ่งกระทำที่จุดต่อ
การเคลื่อนที่ของจุดต่อ
แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ
} อ้างอิงถึงแกนของโครงสร้าง XYZ

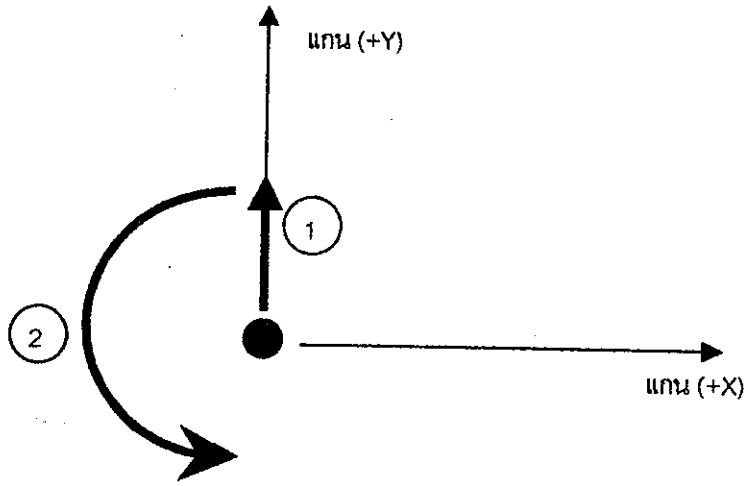
แรงที่ปลายของชิ้นส่วน
แรงยึดปลายของชิ้นส่วนเนื่องจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกบนชิ้นส่วน (AML1, AML2, AML3, AML4)
} อ้างอิงถึงแกนของชิ้นส่วน X_{local} Y_{local} Z_{local}



รูปที่ 4.2 แสดงระบบแกนโคออร์ดิเนต (Coordinate Systems)

4.3 กติกาเรื่องเครื่องหมาย (Sign convention)

กติกาเรื่องเครื่องหมายที่ใช้ใน program สำหรับการกำหนดลำดับและทิศทางที่เป็นบวกของแรงภายนอก น้ำหนักบรรทุก แรงที่ปลายของชิ้นส่วน การเคลื่อนที่ของจุดต่อ แรงปฏิกิริยา ฯลฯ ในทุกระบบแกนโคออร์ดิเนต (XYZ หรือ X_{local} Y_{local} Z_{local}) ใช้ตามกติกาของกฎมือขวา (Right – Hand Rule) ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงลำดับที่และทิศทางที่เป็นบวก

4.4 หน่วย (Units)

เนื่องจาก program ทุก program ในหนังสือเล่มนี้สามารถทำการคำนวณได้ในหน่วยทุกระบบ (เมตริกซ์, SI หรือ ฟุต – ปอนด์ ฯลฯ) ดังนั้นเมื่อเลือกใช้หน่วยของระบบใดระบบหนึ่งจะต้องใช้หน่วยในระบบนั้นให้เสมอต้นเสมอปลาย เช่น ถ้าใช้หน่วยของแรงเป็น *กิโลกรัม* และหน่วยของความยาวเป็น *เซนติเมตร* ก็ต้องใช้หน่วยของ *กิโลกรัม* และ *เซนติเมตร* สำหรับปริมาณอื่น ๆ ในโครงสร้างเดียวกันนั้นอย่างเสมอต้นเสมอปลายโดยตลอดด้วย เช่นพื้นที่หน้าตัดจะต้องมีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (ซม.^{2}) หรือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะต้องมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กก./ซม.^{2})

4.5 ข้อมูลเข้า (Input data)

ข้อมูลที่ต้องป้อนเข้า program แบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ข้อมูลของโครงสร้างทั้งอัน (Structural Data) ได้แก่

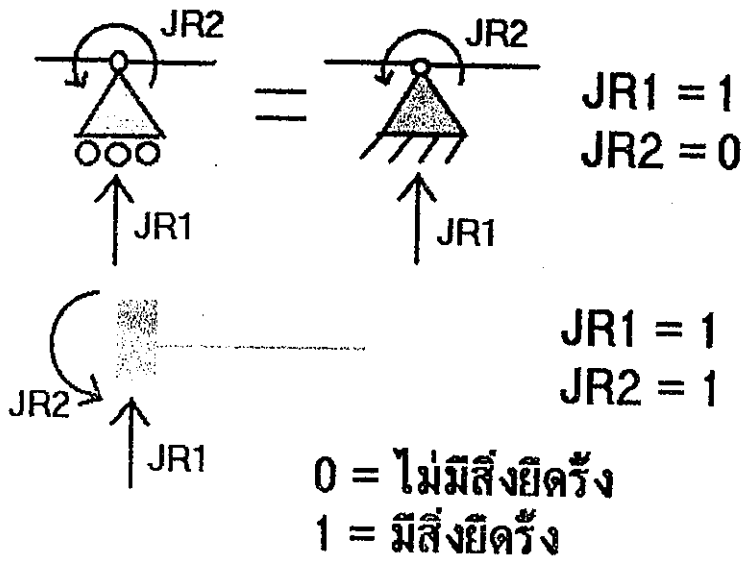
- จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด (total number of members) ใช้สัญลักษณ์คือ M
- จำนวนตัวยึดรั้งทั้งหมด (total number of restraints) หรือจำนวนตัวแรงปฏิกิริยาทั้งหมดใช้สัญลักษณ์คือ NR
- จำนวนจุดรองรับหรือจุดยึดรั้งทั้งหมด (total number of restrained joints) ใช้สัญลักษณ์คือ NRJ
- ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (young's modulus of elasticity) ใช้สัญลักษณ์คือ E

กลุ่มที่ 2 ข้อมูลของชิ้นส่วน (Member Information) ได้แก่

- หมายเลขกำกับชิ้นส่วน (member number) ใช้สัญลักษณ์คือ MEMBER
- ความยาวของชิ้นส่วน (member length) ใช้สัญลักษณ์คือ EL
- โมเมนต์อินเนอร์เชียรอบแกน z (moment of inertia Iz) ใช้สัญลักษณ์คือ ZI

กลุ่มที่ 3 ข้อมูลของจุดต่อ (joint data) ได้แก่

- หมายกำกับจุดต่อ (joint number) ใช้สัญลักษณ์คือ JOINT
- Joint Restraints หมายถึง รหัสบอกสภาพยึดรั้งที่จุดรองรับต่าง ๆ ว่าเป็นจุดรองรับประเภทใด หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ รหัสบอกให้ทราบว่าที่จุดรองรับนั้นมีแรงปฏิกิริยาในแนวใดบ้าง ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงสภาพยึดรั้งที่จุดรองรับโดยที่

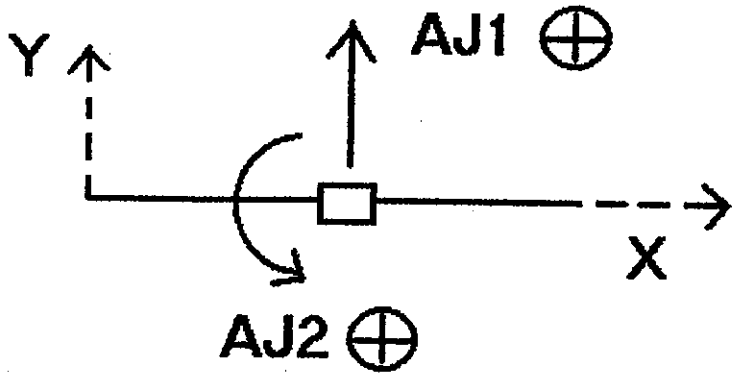
JR1 คือ สิ่งยึดรั้งต้านการเคลื่อนที่ในแนว Y

JR2 คือ สิ่งยึดรั้งต้านการเคลื่อนที่รอบแกน Z

กลุ่มที่ 4 ข้อมูลของน้ำหนักบรรทุก (load data) ได้แก่

- หมายเลขกำกับชุดของน้ำหนักบรรทุกแต่ละชุด (loading number)
- จำนวนจุดต่อที่มีแรงภายนอกกระทำที่จุดต่อโดยตรง (number of loaded joints) ใช้สัญลักษณ์คือ NLJ2

- หมายเลขจุดต่อที่มีแรงภายนอกกระทำและรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงภายนอกที่จุดต่อนั้น ดังรูปที่ 4.5

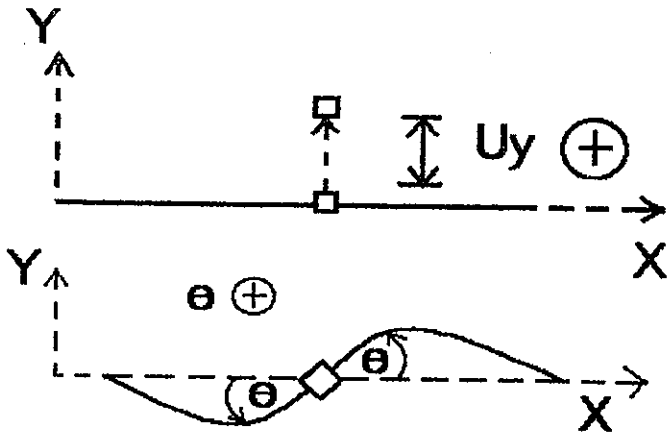


รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของแรงภายนอกที่จุดต่อ

AJ1 คือ แรงกระทำที่จุดต่อในแนว Y

AJ2 คือ แรงกระทำที่จุดต่อรอบแกน Z

- จำนวนจุดต่อที่มีการทรุดตัวที่จุดต่อโดยตรง (number of displacement joints) ใช้สัญลักษณ์คือ NDJ
- หมายเลขจุดต่อที่มีการทรุดตัวและรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของการทรุดตัวที่จุดต่อนั้น ดังรูปที่ 4.6

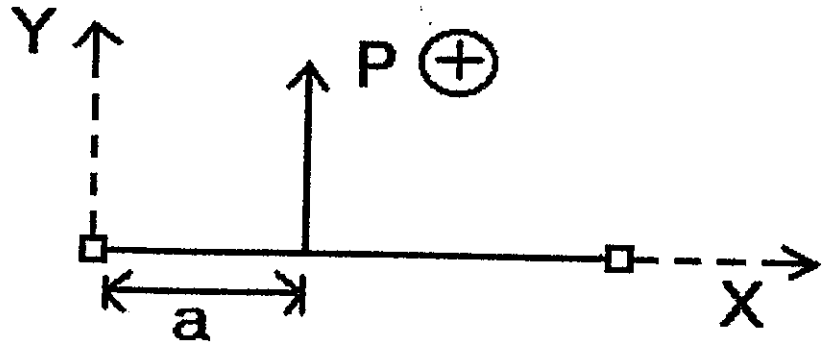


รูปที่ 4.6 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดและทิศทางของการทรุดตัวที่จุดต่อ

Uy คือ การทรุดตัวในแนว Y

θ คือ การหมุนรอบแกน Z

- จำนวนแรงกระทำแบบจุดที่กระทำบนชิ้นส่วน (number of point load) ใช้สัญลักษณ์คือ NPL
- หมายเลขชิ้นส่วนที่ point load กระทำ และรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดและระยะของแรงที่กระทำบนชิ้นส่วนดังรูปที่ 4.7

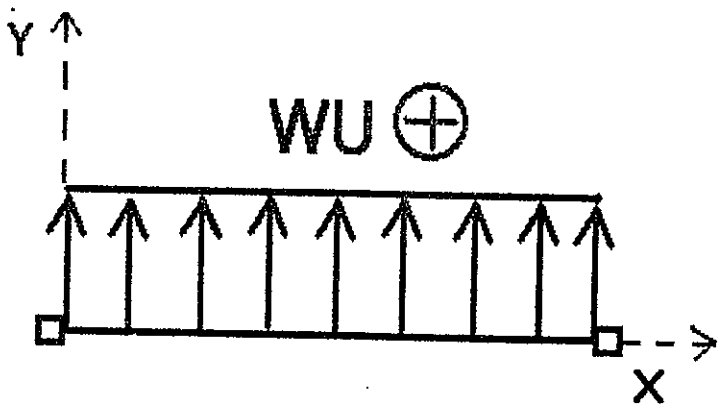


รูปที่ 4.7 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดและระยะของแรงที่กระทำบนชิ้นส่วน

P คือ ขนาดของแรงกระทำในแนว Y

a คือ ระยะที่วัดจากจุดต่อทางด้านซ้ายมือไปจนถึงแนวแรงกระทำ

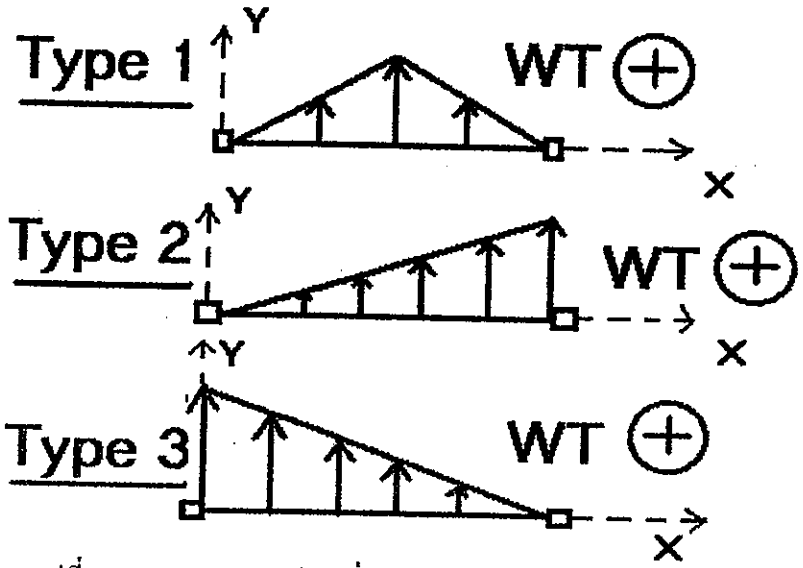
- จำนวนแรงกระทำแบบสม่ำเสมอที่กระทำบนชิ้นส่วน (number of uniform load) ใช้สัญลักษณ์คือ NUL
- หมายเลขชิ้นส่วนที่ uniform load กระทำ และแสดงขนาดของแรงและทิศทางของแรงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงขนาดของแรงและทิศทางของแรง

WU คือ ขนาดของ uniform load บนชิ้นส่วน

- จำนวนแรงกระทำแบบสามเหลี่ยมที่กระทำบนชิ้นส่วน (number of triangular load) ใช้สัญลักษณ์คือ NTL
- หมายเลขชิ้นส่วนที่ triangular load กระทำ และรายละเอียดเกี่ยวกับชนิดและขนาดของแรง ดังรูปที่ 4.9

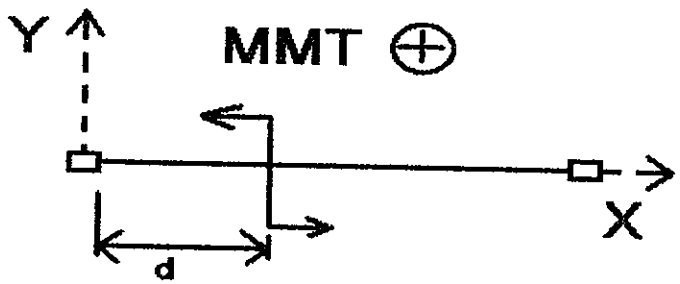


รูปที่ 4.9 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับชนิดและขนาดของแรง

TYPE คือ รูปแบบของแรงกระทำสามเหลี่ยม

WT คือ ขนาดของแรงกระทำสามเหลี่ยม

- จำนวนแรงกระทำโมเมนต์ที่กระทำบนชิ้นส่วน (number of moment load) ใช้สัญลักษณ์คือ NML
- หมายเลขชิ้นส่วนที่ moment load กระทำ และรายละเอียดเกี่ยวกับทิศทางและขนาดของแรงกระทำดังรูปที่4.10

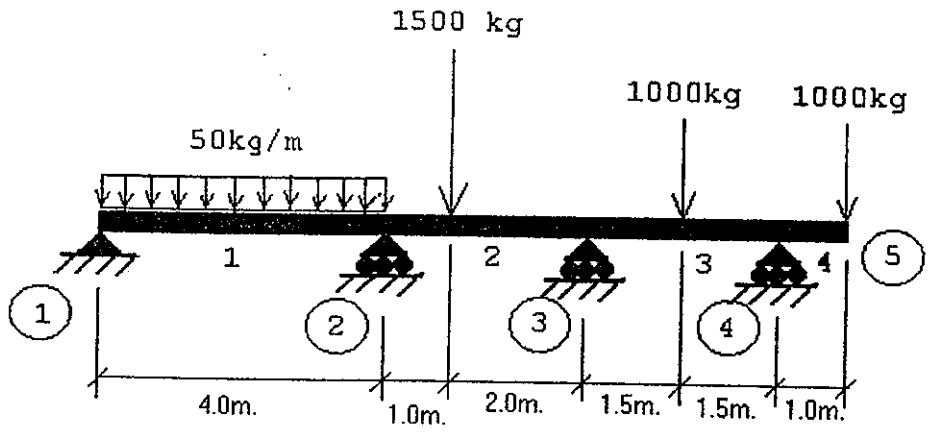


รูปที่ 4.10 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับทิศทางและขนาดของแรง

MMT คือ ขนาดของ moment load

4.6 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลเข้า

ตัวอย่างที่1 คานต่อเนื่อง 4 ช่วงดังแสดงในรูป โดยกำหนดให้ $E = 2 \times 10^{10}$ kg/m^2, $I = 3 \times 10^{-4}$ m^4



Structural Data

Number of member, M = 4

Number of restraints, NR = 4

Number of restrain joints, NRJ = 4

Yang's modulus of elasticity, E = 2×10^{10}

Member Information

Member	length, EL	moment of Inertia, ZI
1	4	0.0003
2	3	0.0003
3	3	0.0003
4	1	0.0003

Joint restraint

Joint	JR1	JR2
1	1	0
2	1	0
3	1	0
4	1	0

Load Data

Number of loaded joints, NLJ = 1

Number of displacement at joints, NDJ = 0

Number of point load, NPL = 2

Number of uniform load, NUL = 1

Number of triangular load, NTL = 0

Number of moment load, NML = 0

Action at Joint

Joint	AJ1	AJ2
5	-1000	0

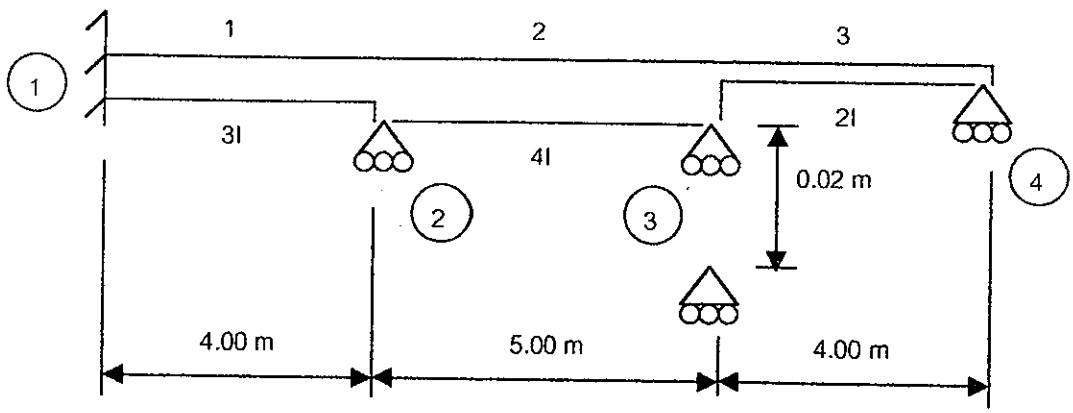
Point load

Menber	P	a
2	-1500	1
3	-1000	1.50

Uniform load

Member	WU
1	-50

ตัวอย่างที่2 คานต่อเนื่องดังรูป จุดรองรับ 3 ทรุดในแนวดิ่งเป็นระยะ 2 เซนติเมตร กำหนดให้ $E = 2.04 \times 10^{7}$ T/m^2 และ $I = 4.162 \times 10^{-4}$ m^4



Structural Data

M	NR	NRJ	E
3	5	4	2.04×10^{6}

Member Information

Member	EL	ZI
1	4	12.486×10^{-4}
2	5	16.648×10^{-4}
3	4	8.324×10^{-4}

Joint restraints

Joint	JR1	JR2
1	1	1
2	1	0
3	1	0
4	1	0

Load Data

NLJ	NDJ	NPL	NUL	NTL	NML
0	1	0	0	0	0

Displacement At Joint

Joint	Uy	rotation
2	-0.02	0

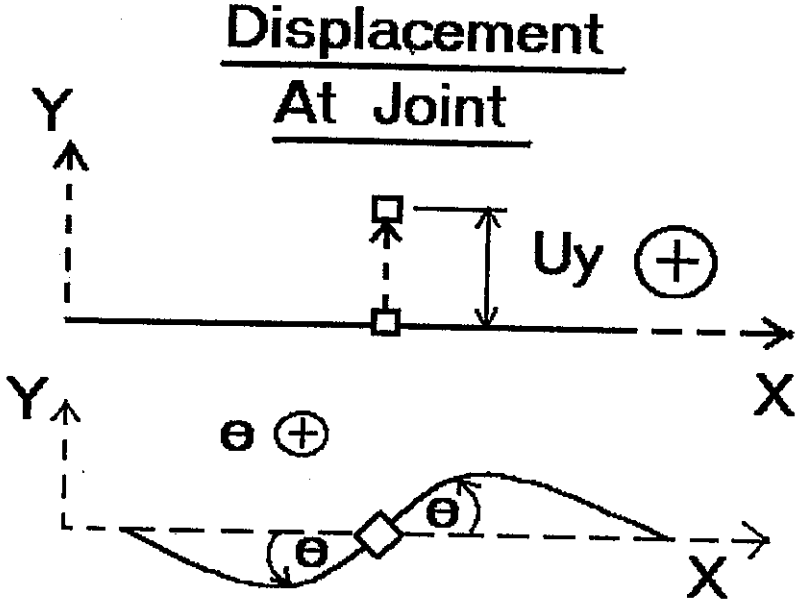
4.7 คำตอบที่ได้จาก program

คำตอบที่ได้จาก program สำหรับการกระทำของน้ำหนักบรรทุกแต่ละชุดประกอบด้วย

(ก) การเคลื่อนที่ของจุดต่อทุกจุด (joint displacement)

DJ1 = การเคลื่อนที่ของจุดต่อในแนว Y
DJ2 = การหมุนตัวของจุดต่อรอบแกน Z

} (ดูรูปที่ 4.11)



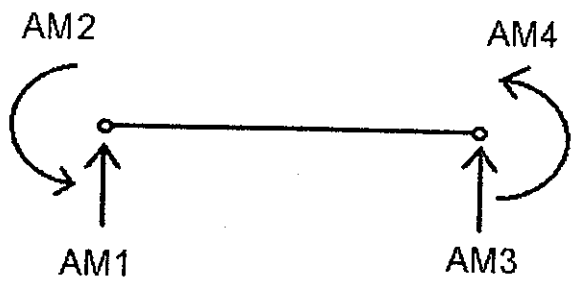
รูปที่ 4.11 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของจุดต่อ

(ข) แรงภายในที่ปลายของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น (member end – action)

AM1 = แรง (เฉือน) ในแนว Ym
AM2 = โมเมนต์ดัดรอบแกน Zm
} ที่ปลาย j

(ดูรูปที่ 4.12)

AM3 = แรง (เฉือน) ในแนว Ym
Am4 = โมเมนต์ดัดรอบแกน Zm
} ที่ปลาย k

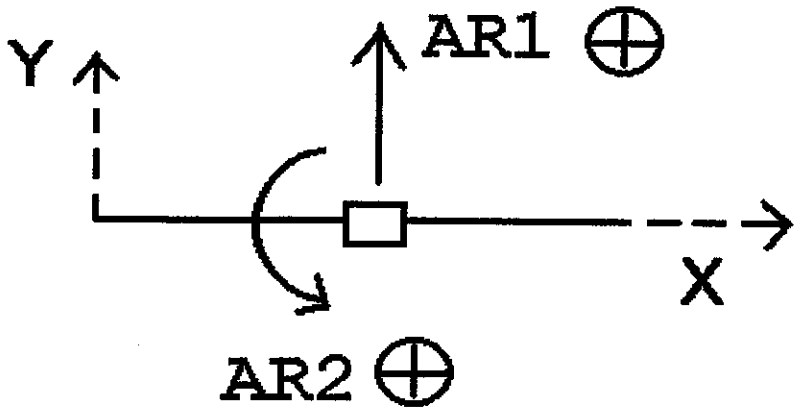


รูปที่ 4.12 แสดงแรงภายในที่ปลายของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น

(ค) แรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับทุกจุด (support reactions)

AR1 = แรงปฏิกิริยาในแนว Y
AR2 = โมเมนต์ปฏิกิริยารอบแกน Z

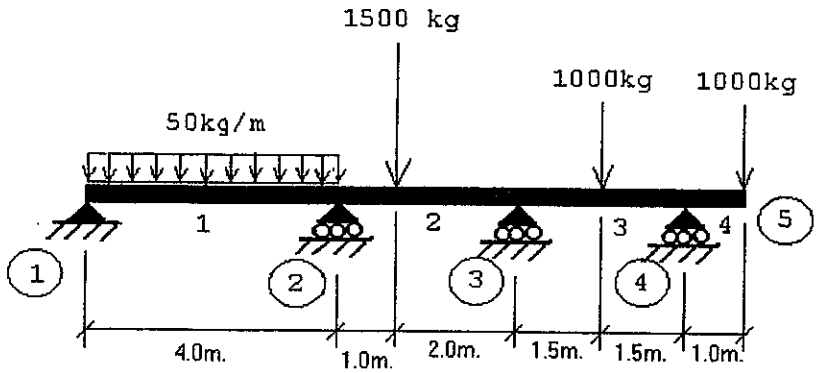
(ดูรูปที่ 4.13)



รูปที่ 4.13 แสดงแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ

4.8 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากโปรแกรม

ตัวอย่างที่3 แสดงคำตอบที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 1

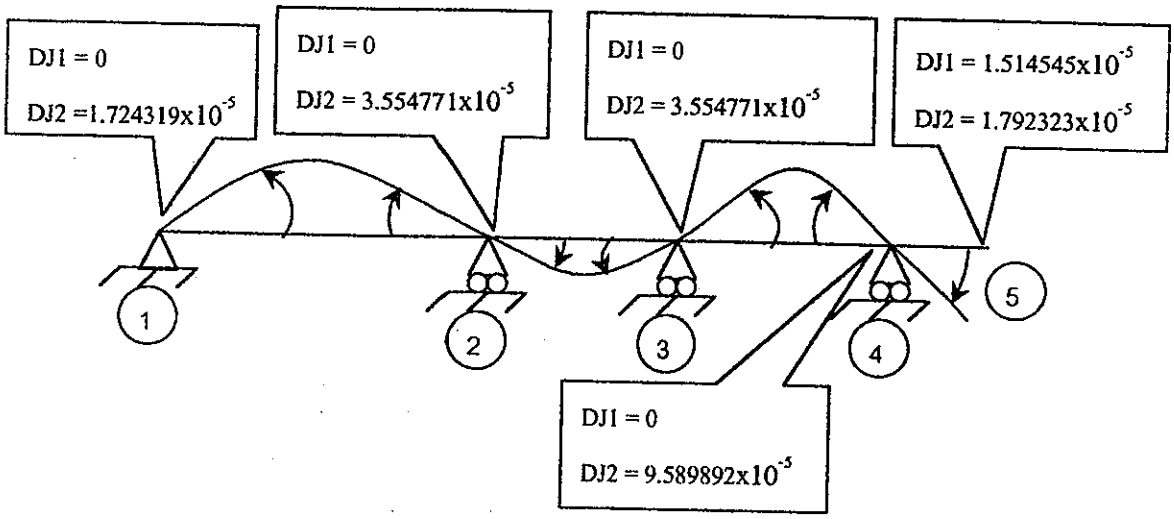


Result

Displacement At Joints

Joint	AJ1	AJ2
1	0	1.724319×10^{-5}
2	0	-5.67086×10^{-5}
3	0	3.554771×10^{-5}

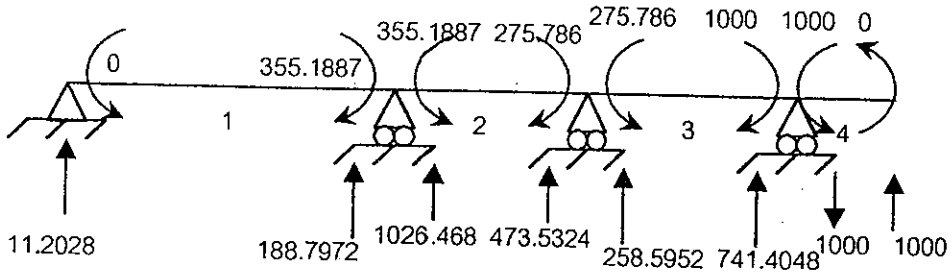
4	0	-9.589892×10^{-5}
5	-1.514545×10^{-5}	-1.792323×10^{-5}



รูปที่ 4.14 แสดง Displacement at joints ของตัวอย่างที่ 1

Member End – Action

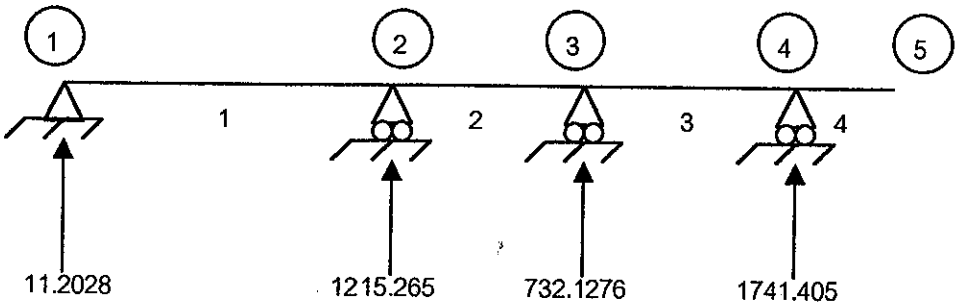
Member	AM1	AM2	AM3	AM4
1	11.2028	0	188.7972	-355.1887
2	1026.468	355.1887	473.5324	-275.786
3	258.5952	275.786	741.4048	-1000
4	1000	1000	-1000	.0001



รูปที่ 4.15 แสดงค่าและทิศทางของแรงกระทำที่ปลายแต่ละชิ้นส่วนของตัวอย่างที่ 1

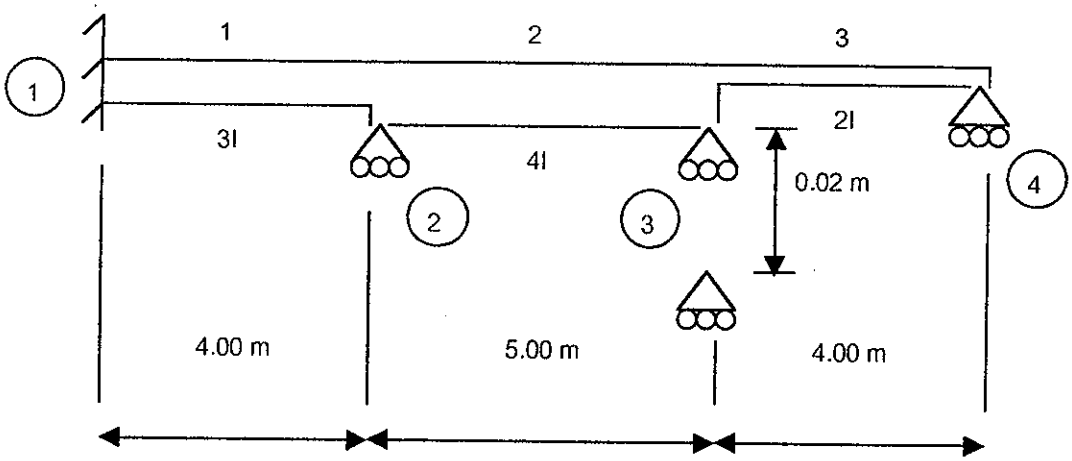
Support Reactions

Joint	AR1	AR2
1	11.2028	0
2	1215.265	0
3	732.1276	0
4	1741.405	0
5	0	0



รูปที่ 4.16 แสดงค่าและทิศทางของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่4 แสดงคำตอบที่ได้จากโปรแกรมในตัวอย่างที่ 2

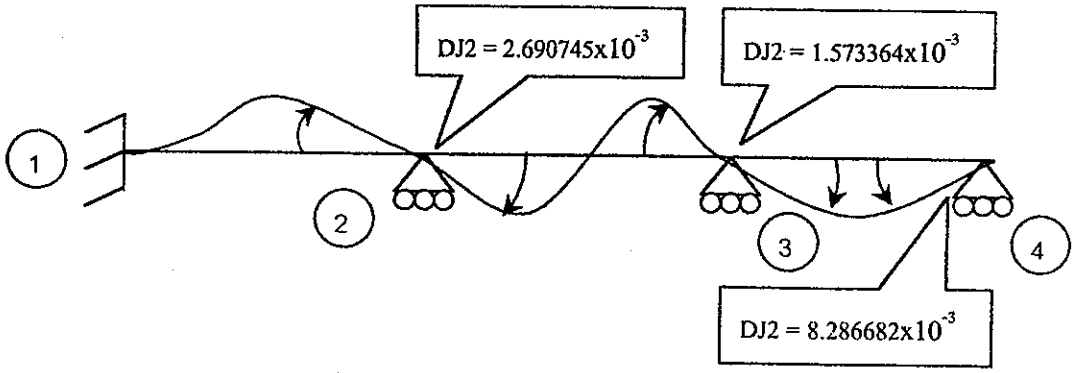


Result

Displacement At Joints

Joint	AJ1	AJ2
1	0	0

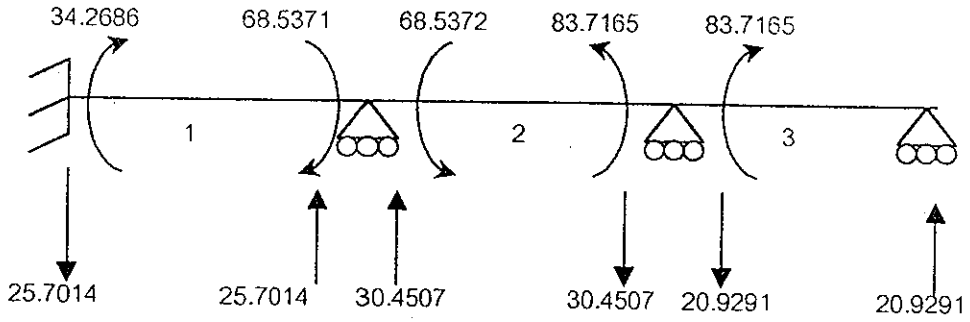
2	0	-2.69075×10^{-3}
3	0	-1.573364×10^{-3}
4	0	8.286682×10^{-3}



รูปที่ 4.17 แสดง Displacement at joints ของตัวอย่างที่ 2

Member End – Action

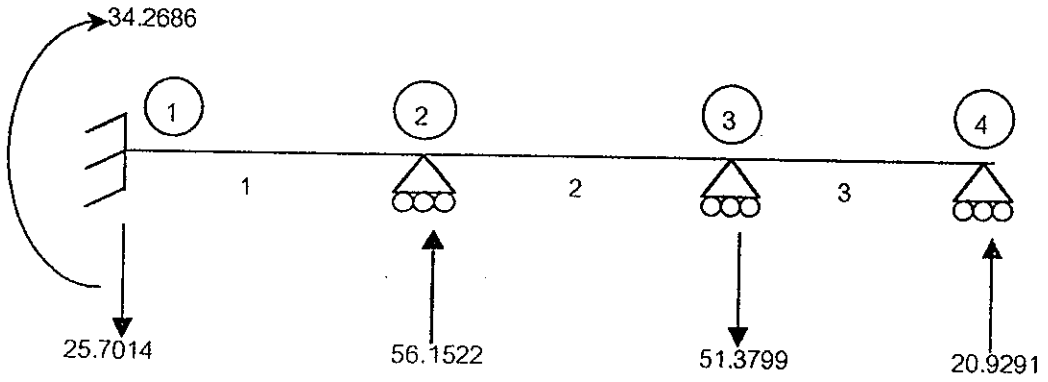
Member	AM1	AM2	AM3	AM4
1	-25.7014	-34.2686	25.7014	-68.5371
2	30.4507	68.5372	-30.4507	83.7165
3	-20.9291	-83.7165	20.9291	0



รูปที่ 4.18 แสดงค่าและทิศทางของแรงกระทำที่ปลายแต่ละชิ้นส่วนของตัวอย่างที่ 2

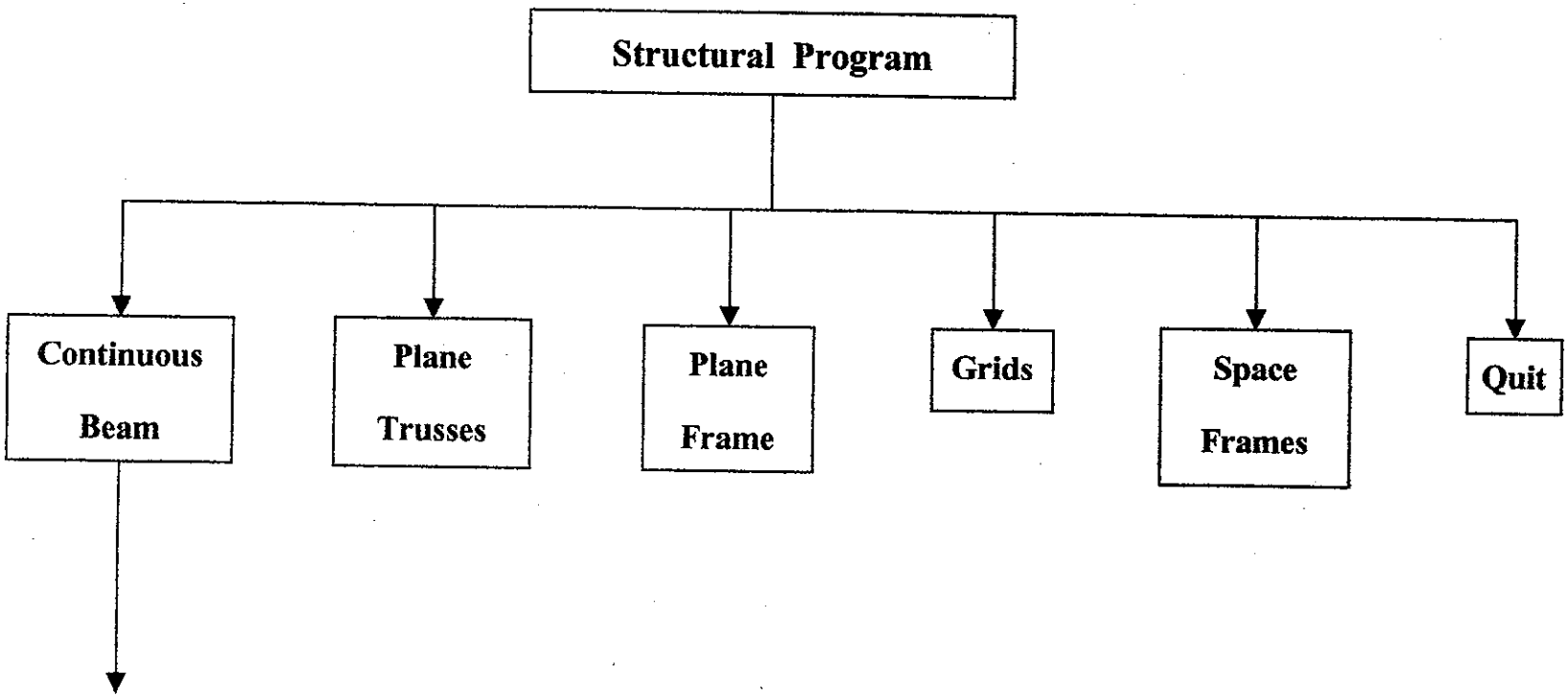
Support Reactions

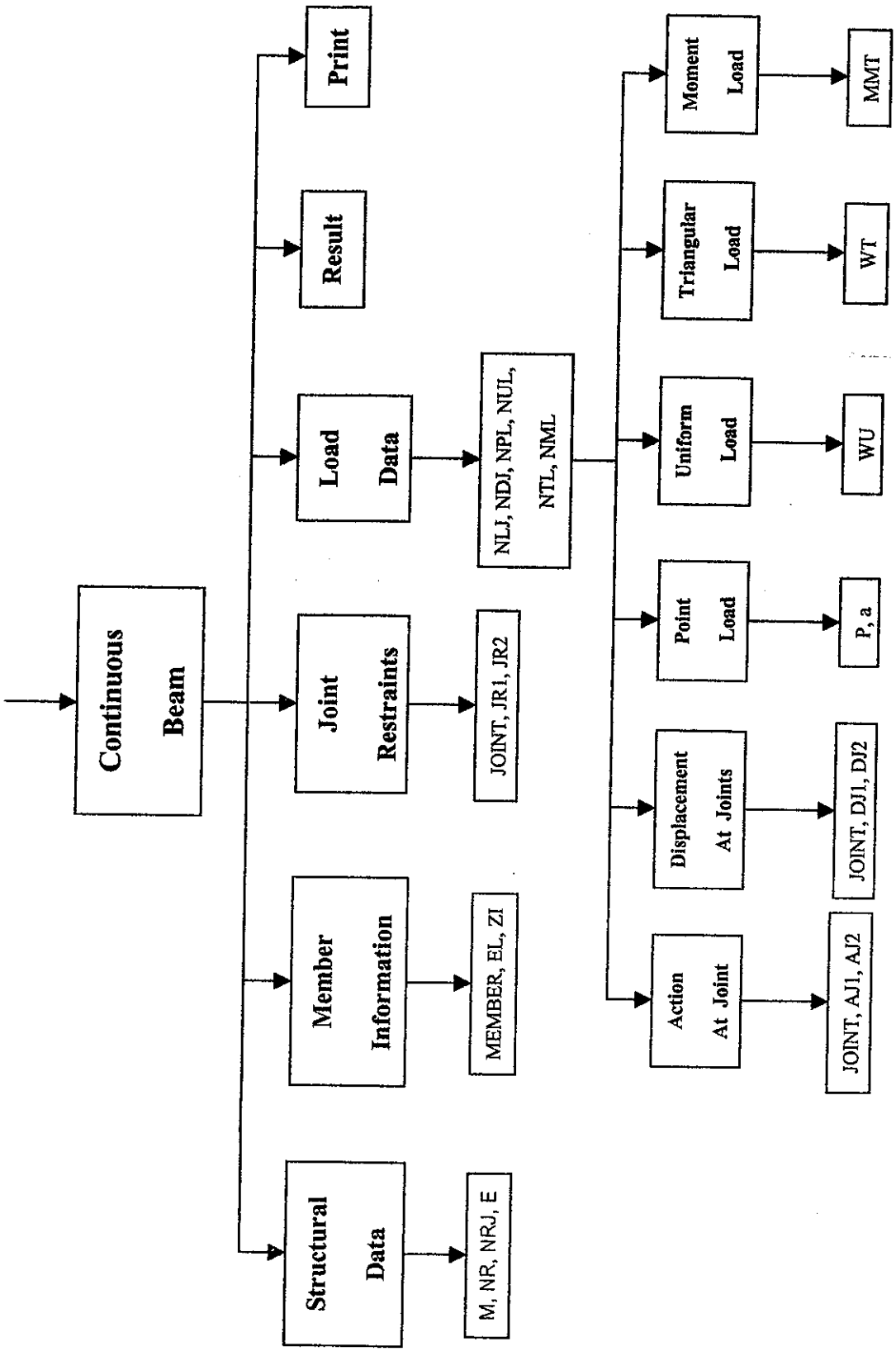
Joint	AR1	AR2
1	-25.7014	-34.2686
2	56.1522	0
3	-51.3799	0
4	20.9291	0



รูปที่ 4.19 แสดงค่าและทิศทางของแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของตัวอย่างที่ 2

4.9 สรุปส่วนประกอบของโปรแกรมวิเคราะห์คานต่อเนื่อง 2 มิติ




Continuous Beam
Structural Data
M, NR, NRJ, E
Member Information
MEMBER, EL, ZI
Joint Restraints
JOINT, JR1, JR2
Load Data
NLJ, NDJ, NPL, NUL, NTL, NML
Result
Print
Action At Joint
JOINT, AJ1, AJ2
Displacement At Joints
JOINT, DJ1, DJ2
Point Load
P, a
Uniform Load
WU
Triangular Load
WT
Moment Load
MMT

4.10 รวบรวมศัพท์และสัญลักษณ์ใน program

ศัพท์และสัญลักษณ์	ความหมาย
Structural Data	ข้อมูลโครงสร้างทั้งอัน
Structural No.	หมายเลขหรือชื่อประจำโครงสร้างนั้น ๆ
Number of member, M	จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมดในโครงสร้าง
Number of restraints, NR	จำนวนตัวแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับทั้งหมดของโครงสร้าง (ในคานต่อเนื่องมีแรงใน แนว Y และแนว Z)
Number of restraints joints, NRJ	จำนวนจุดรองรับทั้งหมด (support joints)
Number of joints, NJ	จำนวนจุดต่อทั้งหมดในโครงสร้าง (จุดต่ออิสระรวมกับจุดรองรับทั้งหมด)
Number of degrees of fredom, N	ดีกรีอิสระของโครงสร้าง
Member Information	ข้อมูลของชิ้นส่วน
Member	หมายเลขชิ้นส่วน
Length, EL	ความยาวของชิ้นส่วน
Moment of Inertia, ZI	ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียรอบแกน Z
Joint Restraint	ลักษณะยึดรั้งของจุดรองรับต่าง ๆ
Joint	หมายเลขจุดต่อ
JR1, JR2	รหัสบอกสภาพยึดรั้ง (joint restraints) ที่จุดรองรับแบบต่าง ๆ (ดูรูป 4.4)
Load Data	ข้อมูลของน้ำหนักบรรทุก
Number of loaded joints, NLJ	จำนวนจุดต่อที่มีแรงภายนอกกระทำที่จุดต่อโดยตรง
Number of displacements at joints,NDJ	จำนวนจุดต่อที่มีการทรุดตัวที่จุดต่อโดยตรง
Number of point load, NPL	จำนวนแรงกระทำแบบจุดบนชิ้นส่วน
Number of uniform load, NUL	จำนวนแรงกระทำแบบสม่ำเสมอ
Number of triangular load, NTL	จำนวนแรงกระทำแบบสามเหลี่ยม
Number of moment load, NML	จำนวนแรงกระทำแบบโมเมนต์
Action At Joints	ข้อมูลของแรงกระทำที่จุดต่อโดยตรง
AJ1, AJ2	ค่าของแรงภายนอกซึ่งกระทำที่จุดต่อโดยตรง ในแนว

	ต่าง ๆ ตามลำดับ (ดูรูปที่4.5)
Displacement At Joints	ข้อมูลการทรุดตัวที่จุดต่อโดยตรง
Uy	ค่าของการทรุดตัวแนว Y (ดูรูปที่ 4.6)
Rotation, θ	ค่าของการหมุนรอบแกน Z (ดูรูปที่ 4.6)
Point Load	ข้อมูลของแรงกระทำจุดบนชิ้นส่วน
P	ค่าของแรงกระทำแบบจุด (ดูรูป 4.7)
A	ระยะของแรงกระทำแบบจุด (ดูรูป 4.7)
Uniform Load	ข้อมูลของแรงกระทำแบบสม่ำเสมอ
WU	ค่าของแรงกระทำแบบสม่ำเสมอ (ดูรูป 4.8)
Triangular load	ข้อมูลของแรงกระทำแบบสามเหลี่ยม
TYPE	ชนิดของแรงกระทำแบบสามเหลี่ยม (ดูรูป 4.9)
WT	ค่าของแรงกระทำแบบสามเหลี่ยม (ดูรูป 4.9)
Moment load	ข้อมูลของแรงกระทำแบบโมเมนต์
MMT	ค่าของแรงกระทำแบบโมเมนต์ (ดูรูป 4.10)
D	ระยะของแรงกระทำแบบโมเมนต์ (ดูรูป 4.10)
Result	คำตอบที่ได้จากการคำนวณโดยเครื่องคอมพิวเตอร์
Joint Displacements	ข้อมูลการเคลื่อนที่ของจุดต่อทุกจุด
DJ1, DJ2	การเคลื่อนที่ของจุดต่อในแนวต่าง ๆ (ดูรูป 4.11)
Member End – Actions	ข้อมูลของแรงที่ปลายของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น
AM1, AM2, AM3, AM4	ค่าของแรงที่ปลายของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น (ดูรูปที่ 4.12)
Support Reactions	ข้อมูลของแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับในแนวต่าง ๆ
AR1, AR2	ค่าของแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับในแนวต่าง ๆ (ดูรูป 4.13)