



การวิเคราะห์ฐานรากแผ่ร่วมด้วยวิธี FINITE-GRID METHOD

โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

MAT FOUNDATION ANALYSIS USE FINITE-GRID METHOD

BY MICRO-COMPUTER



นาย เอกชัย เอกวัฒนาโชติกุล

MR. ERACHAI EKWATTANACHOTIKUL

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

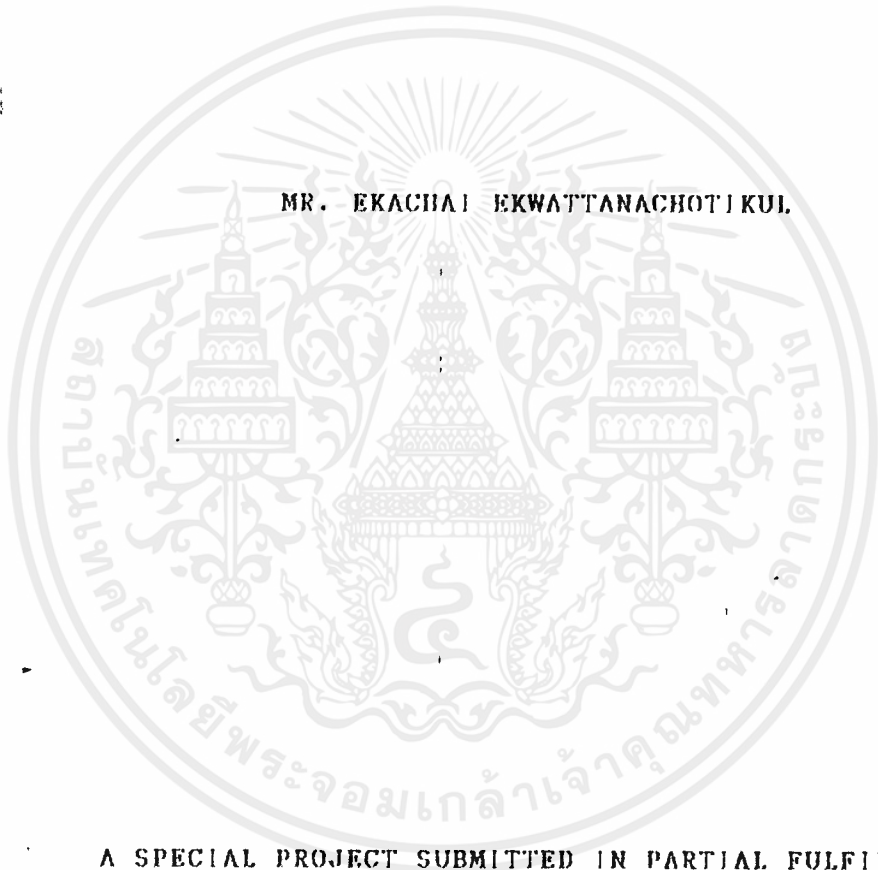
พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีโอกาสไปใช้

032499

**MAT FOUNDATION ANALYSIS USE FINITE-GRID METHOD
BY MICRO-COMPUTER**

MR. EKACHAI EKWATTANACHOTIKUL



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1991

โครงการพิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์ฐานรากแผ่ร่วมด้วยวิธี FINITE-GRID METHOD
โดยไมโครคอมพิวเตอร์
MAT FOUNDATION ANALYSIS USE FINITE-GRID METHOD
BY MICRO-COMPUTER

นักศึกษา นาย เอกชัย เอกวัฒน์โชติกุล รหัสประจำตัว 321493
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ศรีกรีฑ์ หิรัญมาศ

คณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อ. สุวัฒน์ หวังเจริญ
2. อ. สุวัฒน์ ถิระเศรษฐ์
3. อ. อำนวย พาณิชกุลพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....
(นายสุวัฒน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บทคัดย่อภาษาไทย

หัวข้อโครงงานพิเศษ การวิเคราะห์ฐานรากแผ่ร่วมด้วยวิธี FINITE-GRID METHOD โดยให้ไมโครคอมพิวเตอร์
นักศึกษา นาย เอกชัย เอกวัฒน์โชติกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศรียุทธ หิรัญมาศ
ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ. 2535

บทคัดย่อ

ฐานรากร่วม เป็นฐานรากขนาดใหญ่ที่ต่อเนื่องกันเป็นผืน ซึ่งมีเสาหนึ่งต้นหรือมากกว่าในหลายๆแนว ฐานรากแผ่ร่วมอาจจะใช้เมื่อสภาพของดินนั้นมีค่าความต้านทานแรงดันของดินต่ำ และ/หรือ น้ำหนักจากเสามีค่าสูงมาก คือสูงกว่า 50 % ของพื้นที่ที่ปกคลุมโดยฐานรากแผ่ร่วมมักจะใช้กับตึกเก็บ ฐานของเครื่องจักรอุตสาหกรรม ไซโล หรือแม้แต่อาคารสูง

มีหลายๆวิธีด้วยกันที่สามารถนำมาวิเคราะห์ฐานรากแผ่ร่วม แต่วิธี FINITE GRID METHOD เป็นวิธีที่เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ฐานรากแผ่ร่วม ซึ่งมีข้อดีหลายๆประการ ดังนี้

1. เป็นการง่าย หากจะขยายเพิ่มตึกริความอิสระจาก 3 ตึกริความอิสระไปเป็น ตึกริอิสระตามที่ต้องการ เพียงปรับปรุง A matrix ให้เป็นขนาด 12×12
2. เป็นการง่ายในการปรับปรุงกรณีของขนาดเพิ่มเติมเข้าไปในระบบสมการ เหมือนดังเช่นวิธี FINITE ELEMENT METHOD
3. เป็นการง่ายที่จะรับค่า load ต่างๆ
4. FINITE GRID METHOD เป็นวิธีที่ระบบระเบียบการคำนวณที่แน่นอนแต่ซับซ้อน จึงเหมาะสำหรับปรับปรุงเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ส่วนหลักการของวิธีนี้ มีระบบสมการเหมือนกับ FINITE ELEMENT METHOD โดยที่ $P = (ASA^T)^{-1} X$ เป็นสมการหลัก

เมื่อ P หมายถึง แรงภายนอกที่แต่ละ node

ASA^T หมายถึง matrix ความแข็งเกร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title MAT FOUNDATION ANALYSIS USE FINITE-GRID METHOD
 BY MICRO-COMPUTER
Student MR. EKACHAI EKWATTANACHOTIKUL
Project Adviser Dr. SRIKIT HIRUNMAS
Level of Study Bachelor of Engineering in Construction Engineering
Department Civil Engineering Faculty of Engineering King Mongkut
 's Institute of Technology Ladkrabang
Year 1992

ABSTRACT

A mat foundation is a large concrete slab used to interface one of more columns in several lines with the base soil. A mat foundation may be used where the base soil has a low bearing capacity and/or the column loads are so large that more than 50 percent of the area is covered by conventional spread footing. A mat foundation may be used to support on grade storage tanks or be used to support several pieces of industrial equipment, silo, various tower structures.

There are several methods to analyse a mat foundation but the finite grid method is particularly suited for use in mat analyses. It has the distinct advantages of

1. It is relatively simple to extend the 3 degree of freedom nodes to use 6 degree of freedom as required.
2. Boundary cases are as easily modelled as with the finite element method.
3. It is easy to directly input concentrated column moments
4. Finite grid method has same algorithm that easy to interpret to computer program.

The concept of this method is same equations like finite element method, $P = (ASA^T)^{-1} X$ is the main equation.

where P = external force

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ไปยังบุคคลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ คุณความดีขอมอบให้แก่บุคคลผู้ให้ความอนุเคราะห์ ตลอดจนคำแนะนำในด้านต่างๆ ต่อผู้จัดทำดังนี้

ดร. ศรีกรีฑ หิรัญมาศ

- อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วิชาญ ภูพันธ์, อ. สมพร อรรถเจริญวงศ์, ดร. ไมตรี เต็มสมบัติบวร

- ที่ให้คำปรึกษาปัญหาต่างๆ ด้วยไมตรีจิตที่ดีตลอดมา

อาจารย์ทุกท่านในภาควิชา

- ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

ตลอดจนรุ่นพี่ เพื่อนๆ ผู้ให้คำแนะนำในการทำงาน และช่วยเหลือในด้านต่างๆ และที่ขาดเสียมิได้คือบุพการี ผู้ให้ความช่วยเหลือด้านการเงินและกำลังใจด้วยดีตลอดมา ซึ่งถ้าหากขาดผู้อนุเคราะห์คนใดคนหนึ่ง โครงการพิเศษนี้จะไม่เป็นรูปเล่มดังที่ท่านกำลังถืออยู่ อย่างนี้แน่นอน

ผู้จัดทำ

นายเอกชัย เอกวัฒน์โชติกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
คำนิยามศัพท์ที่ใช้.....	VIII
บทที่	

1 บทนำ.....	1
1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ.....	1
1.2. ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่เกี่ยวกับโครงการพิเศษ.....	1
1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ.....	1
1.5. วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ.....	2
2 FINITE ELEMENT METHOD.....	3
2.1. บทนำ.....	3
2.2. Modulus Of Subgrade Reaction.....	3
2.3. การวิเคราะห์โครงสร้างฐานรากแบบ combine โดยใช้ finite element.....	9
2.3.1. สมการทั่วไปที่ใช้ในการแก้ปัญหา.....	9
2.3.2. การหาค่า element A matrix.....	12
2.3.3. การหาค่า matrix S.....	13
2.3.4. การหา element SA^T และ ASA^T matrices.....	14
2.3.5. การหา P matrix.....	16
2.3.6. Boundary Conditions.....	17
2.3.7. Node Springs.....	18
2.3.8. Spring Coupling.....	18
2.3.9. Finite Element Computer Program.....	19

สารบัญ

หน้า

3	FINITE GRID METHOD.....	20
3.1.	modulus of subgrade reaction (k_{su}) สำหรับ MAT.....	20
3.2.	FINITE GRID METHOD.....	21
3.3.	Preliminary Work.....	24
3.4.	Establishing Finite Element Grid.....	25
3.5.	The Solution Procedure.....	26
4	ลำดับขั้นตอนการทำงานในโปรแกรม.....	28
4.1.	ลำดับขั้นตอนของโปรแกรม Combined Footing.....	28
4.1.1.	ขั้นตอนรับค่าข้อมูลต่างๆ.....	28
4.1.2.	ขั้นตอนการคำนวณ.....	28
4.1.2.1.	การหาค่า Sum Applied Force.....	28
4.1.2.2.	การหาค่า Node Spring.....	28
4.1.2.3.	การหา matrix ASA^T	30
4.1.2.4.	การ Modify.....	33
4.1.2.5.	การ solve.....	39
4.1.2.6.	การหาค่า Force, Displacement, Spring Force.....	39
4.2.	ลำดับขั้นตอนของโปรแกรม Mat Foundation.....	40
5	ตัวอย่างการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์โครงสร้างฐานราก.....	42
5.1.	ตัวอย่างการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ COMBINED FOOTING.....	42
5.1.1.	ระบบ MENU.....	42
5.1.2.	ตัวอย่างที่ 1 (COMBINED FOOTING).....	45
5.1.3.	ตัวอย่างที่ 2 (COMBINED FOOTING).....	52
5.2.	ตัวอย่างการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ MAT FOUNDATION.....	59
5.2.1.	ระบบ MENU.....	59
5.2.2.	ตัวอย่างที่ 1 (MAT FOUNDATION).....	62
5.2.3.	ตัวอย่างที่ 2 (MAT FOUNDATION).....	73
	บรรณานุกรม.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ตารางแสดงค่า Modulus of Subgrade Reaction.....	8



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 Elastic properties of soil.....	4
2-2 นิยามของ Modulus of Subgrade Reaction.....	4
2-3 External (nodal) และ internal (member) finite-element forces.....	11
2-4 Structure broken into finite elements	11
2-5 Conjugate-beam relationships	13
3-1 รูปแสดงการคิดพื้นที่ ที่นำมาคิด ค่า k_{Σ}	20
3-2 Method of finite-element (grid) analysis	22
3-3 Typical coding for mat Program	22
3-4 แสดง matrix ASA^T ซึ่งเราจะใช้ข้อมูลเฉพาะที่อยู่ในช่อง nband.	28
4-1 แสดงการจัดวางของ Element EASAT ลงใน ASA^T	31
4-2 แสดง ขนาดรูปร่างของสมการ $P = (ASA^T)^{-1} X$	32
4-3 แสดง matrix ASA^T ซึ่งเราจะใช้ข้อมูลเฉพาะที่อยู่ในช่อง nband.	32
4-4 แสดงการกำหนดตัวแปรต่างๆในโครงสร้าง.....	34
4-5 แสดงการเพิ่มค่า Spring Force เข้าไปใน matrix ASA^T	35

คำนิยามศัพท์

1. k_s = Modulus of subgrade reaction
2. q = Overburden pressure
3. = Settlement
4. = Strain = $\Delta q / E_s$ (or q / E_s)
5. ΔH = Settlement of foundation
6. Δq = Stress increase in stratum from footing
7. E_c = Modulus of elasticity of concrete
8. F = Internal member forces
9. e = Internal member deformation
10. P = External nodal force
11. X = External nodal displacement
12. A = Bridging const. (Rect. matrix)
13. ASA^T = Stiffness matrix
14. I = Moment of inertia

บทที่ 1

บทนำ

1.1. วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ MAT FOUNDATION และ เขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้การคำนวณเป็นไปอย่างแม่นยำและรวดเร็ว

เพื่อนำมาโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ MAT FOUNDATION

1.2. ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

วิธีที่ใช้ในการออกแบบก็คือ วิธี FINITE GRID METHOD ซึ่งวิธีนี้ก็คือวิธี FINITE ELEMENT แต่ใช้กับโครงสร้างที่มีลักษณะเป็น GRID

ซึ่งวิธีที่เหมาะสมใช้ในการออกแบบ MAT FOUNDATION ก็คือวิธี FINITE GRID METHOD วิธีนี้จะให้ค่าการคำนวณที่ใกล้เคียงกว่าวิธีอื่น

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การออกแบบ MAT FOUNDATION ด้วยวิธี FGM จะให้ค่าที่แม่นยำ ซึ่งยิ่งถ้าหากนำมาปรับปรุงเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้ว ก็ยิ่งจะเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการคำนวณ และลดการผิดพลาดด้านการคำนวณได้มาก และอีกทั้งวิธี FGM นี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากซับซ้อนและมีการวนซ้ำจึงไม่เหมาะสำหรับการคำนวณด้วยมือเป็นอย่างยิ่ง

1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ในส่วนของเนื้อหาจะมีหัวข้อดังนี้

1. การใช้วิธี FINITE ELEMENT METHOD มาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ COMBINED FOOTING
2. การใช้วิธี FINITE GRID METHOD มาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ MAT FOUNDATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5! วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

วิธีที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ใช้วิธี FINITE GRID METHOD เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ MAT FOUNDATION มากที่สุด

ส่วนวิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

1. ศึกษาวิธีการออกแบบ MAT FOUNDATIONS ด้วยวิธี FGM
2. นำขั้นตอนการออกแบบมาเขียนเป็น FLOW CHART
3. นำ FLOW CHART มาเขียนเป็นโปรแกรม
4. ปรับปรุงโปรแกรมให้เหมาะสม ใช้ง่าย



บทที่ 2

2.1. บทนำ

ในส่วนนี้ข้าพเจ้าจะกล่าวถึงฐานรากซึ่งมีความสัมพันธ์ที่มากกว่าฐานรากเดี่ยว คือ ฐานรากที่รองรับหลายๆ column ในแนวเดียวกันหรือรองรับ หน้าหนักของเครื่องจักรอุตสาหกรรม ส่วนในบทต่อไปจะได้นับถึงฐานรากที่รองรับ column ในหลายๆแนว ซึ่งก็คือ mat foundation นั่นเอง

เมื่อฐานรากรองรับ column ในแนวเดียวไม่ว่าจะมี 2 column หรือมากกว่า เราจะเรียกว่า combined footing ซึ่งก็มีหลายลักษณะด้วยกันอาจจะเป็นในลักษณะ rectangular หรือ trapezoidal หรือเป็นลักษณะคล้ายฐานรากเดี่ยวแล้วให้เชื่อมต่อกันด้วย rigid beams ก็มีชื่อเรียกเฉพาะว่า strap footing

2.2. Modulus Of Subgrade Reaction

Modulus Of Subgrade Reaction เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันดินกับ deflection ซึ่งใช้กันมากในการวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นส่วนของฐานราก ไม่ว่าจะเป็น ฐานรากแบบ combined หรือ ฐานรากแบบ mat และเสาเข็มชนิดต่างๆ

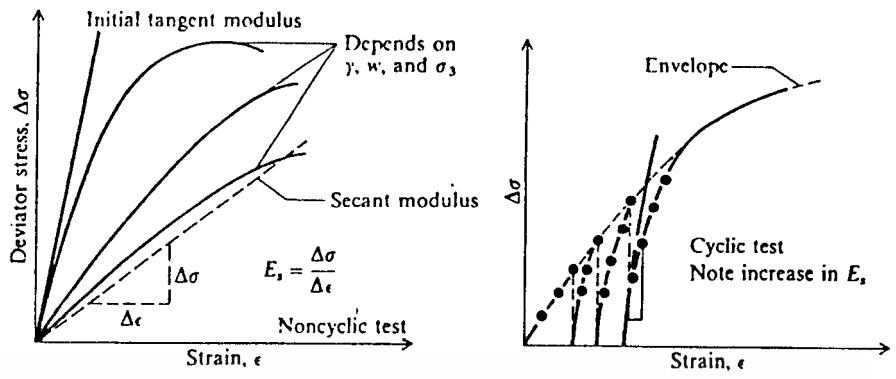
ซึ่งสมการความสัมพันธ์เรานำมาเขียนได้ดังนี้

$$k_n = \frac{q}{\delta} \quad (2-1)$$

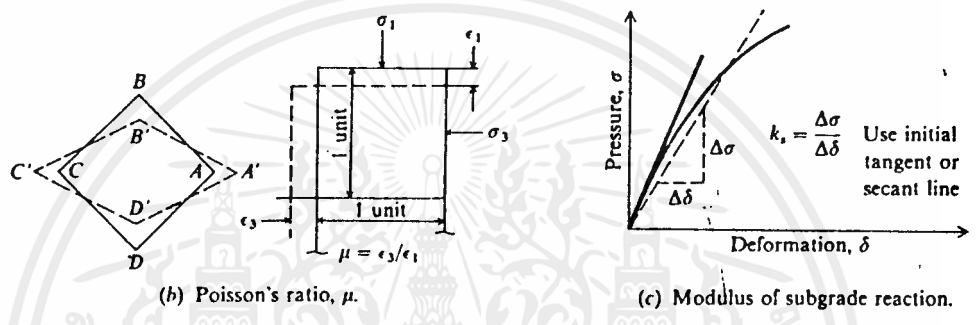
ซึ่งสัดส่วนความสัมพันธ์ได้แสดงไว้ในรูป 2-1c และรูป 2-2b ซึ่งจากกราฟ 2-2b จะสังเกตเห็นว่าค่าของ k_n จะขึ้นอยู่กับค่า tangent หรือ secant modulus และตำแหน่งของโคออร์ดิเนตของ q และ

มันเป็นการยากในการทำ plate load test ยกเว้นเสียจากว่าเป็น plate เล็กๆ เนื่องจาก การกระจายของแรงปฏิกริยา: แม้แต่ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ plate ขนาด 450, 600, 750 mm. เป็นการยากในการรับค่า เนื่องจาก plate จะไม่มีความ rigid

อย่างแท้จริง จึงทำให้ deflection ที่เกิดขึ้นทั่วทั้ง plate (ซึ่งก็คือค่าจำกัดควมของ k_n) ไม่เท่ากันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



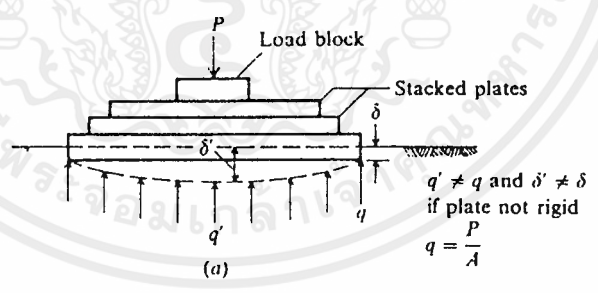
(a) Stress-strain modulus.



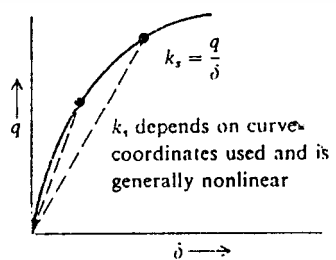
(b) Poisson's ratio, μ .

(c) Modulus of subgrade reaction.

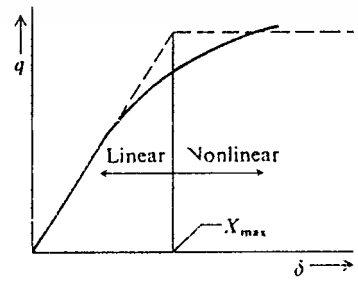
รูปที่ 2-1 Elastic properties of soil



(a)



(b)



(c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2-2 นิยามของ Modulus of Subgrade Reaction
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งยากแก่การหาค่า; การวางซ้อนของ plate ที่เล็กกว่าลงบน plate ที่ใหญ่กว่า ดูจะเป็น การเพิ่มความ rigid ให้แก่ plate แต่ในบางกรณีที่เส้นกราฟก็จะเขียนจากค่า load ส่วน ด้วยพื้นที่หน้าสัมผัสของ plate (ค่า P/A) และค่าเฉลี่ย deflection ที่วัดได้

ส่วนรูป 2-2c ได้แสดงให้เห็นว่าค่า k_{sub} นั้น ในตำราของ Bowles จะใช้ค่าคงที่ X_{max} เป็นตัวแบ่งระหว่างความเป็น linear, ไม่linear ซึ่งค่าความสัมพันธ์ที่อยู่ก่อนหน้านั้น ก็จะเป็น linear; ส่วนหลังจากค่า X_{max} นั้นจะเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งแสดงไว้โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$q_{con} = k_{sub} (X_{max}) \quad (2-2)$$

เป็นที่น่าสังเกตว่า k_{sub} นั้นที่ได้มาจากกราฟ $q - \delta$ สามารถมีได้หลายค่าด้วยกันขึ้นอยู่กับจุดบนเส้นโค้งที่เราพิจารณา แต่อย่างไรก็ตามค่าที่นิยมใช้เป็นส่วนใหญ่ในขบวนการวิเคราะห์ก็คือ อยู่บนหลักของการประมาณค่า

มีหลายคนที่ไม่ชอบใช้หลักการของ Modulus of Subgrade Reaction แต่นิยมใช้ E_s (และ μ) ในการวิเคราะห์แบบ finite element; ตามประสบการณ์ของผู้เขียน (Bowles) ใช้ทั้ง finite element และ หลักการของ modulus of subgrade reaction แต่ modulus of subgrade reaction จะดีกว่าตรงง่ายในการนำมาใช้ ส่วนเนื้อหาต่อไปนี้จะเป็นการแสดงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่าง E_s และ k_{sub}

ปัญหาใหญ่ๆก็คือการประมาณค่า k_{sub} ที่วงปี 1955 Terzaghi ก็ได้เสนอว่า k_{sub} หาได้จาก plate load tests ซึ่งให้สมการดังนี้

สำหรับฐานรากบนดินเหนียว

$$k_{sub} = k_1 B \quad (2-3)$$

สำหรับฐานรากบนทราย

$$k_{sub} = k_1 \frac{(B + 1)^2}{(2 B)^2} \quad (2-4)$$

สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $B * mB$

$$k_{sub} = k_1 \frac{(m + 0.5)}{1.5 m} \quad (2-5)$$

ในสมการนี้ k_1 ก็คือค่าที่ได้จาก $1 * 1 \text{ ft}^2$ plate load test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะงานวิจัยหรือการศึกษาระยะสั้นๆเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน Vesic (1961a ,1961b) ได้เสนอให้ใช้ค่า modulus of subgrade reaction ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก โมดูลัสความเค้น-ความเครียด, E_s เช่น

$$k_u = 0.65 \sqrt{\frac{E_s B^4}{E_f I_f}} \frac{E_s}{1 - \mu^2} \quad (2-6)$$

ซึ่ง E_s, E_f = โมดูลัสของดินและฐานรากตามลำดับ

B, I_f = ความกว้างของฐานราก และ moment inertia based on หน้าตัดด้าน Cross Section

เราสามารถหา k_u จาก $k_u = k_u'$

เนื่องจาก ปรากฏที่ 12 ของค่าใด ๆ คูณ 0.65 จะเข้าใกล้ 1 ซึ่งสมการ Vesic ลดมาเป็น

$$k_u = \frac{E_s}{B(1 - \mu^2)} \quad (2-6a)$$

ใช้สมการ $E_s' = (1 - \mu^2) / E_s$ แล้วจะได้ความสัมพันธ์

$$\Delta H = \Delta q B E_s' I_s I_f$$

เนื่องจาก k_u คือ = $\frac{\Delta q}{\Delta H}$ เราจะได้

$$k_u = \frac{\Delta q}{\Delta H} = \frac{1}{B E_s' I_s I_f} \quad (2-7)$$

เราจะเขียนอัตราส่วนระหว่าง k_u ดังนี้

$$\frac{k_{u2}}{k_{u1}} = \frac{B_2 E_{s2}' I_{s2} I_{f2}}{B_1 E_{s1}' I_{s1} I_{f1}} \quad (2-8)$$

จากสมการ (2-8) ควรจะใช้แทนสมการ (2-3) ไปจนถึง (2-5) และ (2-7)

โปรดสังเกตว่าสมการนี้ได้มาจากพื้นฐานของสมการ settlement (I_s เป็น influence เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

factor)

ส่วนสมการ (2-7) และ (2-8) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง k_{sub} และ E_s เนื่องจากปกติจะยังไม่ได้อำนาจ E_s จำเป็นต้องให้ค่าที่เหมาะสม และปกติจะเป็นที่พอใจเมื่อการคำนวณ deflection (ซึ่งปกติขึ้นกับ k_{sub}) ก็สามารถอนุโลมให้ใช้ได้ ซึ่งพบว่า bending moment และค่าแรงดันดินที่คำนวณได้ ไม่ได้ sensitive สำหรับค่าอะไรต่างๆที่ใช้ใน k_{sub} มากนัก เนื่องจาก stiffness ขึ้นส่วนของโครงสร้าง ปกติมากกว่า 10 ครั้งจะมีขนาดใหญ่พอๆกับ stiffness ของดินที่วัดมาจาก k_{sub} ; จุดที่ต้องจำคือ Bowles ได้แนะนำค่าที่เหมาะสมของ k_{sub} ดังข้างล่างนี้ มาจาก ความสามารถต้านทานแรงดันของดินที่อนุญาตซึ่งเตรียมพร้อมไว้โดย geotechnical consultant

$$\text{FPS : } k_{\text{sub}} = 12 (\text{SF}) q_{\text{ult}} \text{ k/ft}^2$$

$$\text{SI : } k_{\text{sub}} = 40 (\text{SF}) q_{\text{ult}} \text{ kN/m}^2$$

ซึ่ง q_{ult} จะต้องมีหน่วยเป็น ksf หรือ kPa สมการนี้มีพื้นฐานมาจาก $q_{\text{ult}} = q_{\text{ult}} / \text{SF}$ และแรงดันดินประลัยก็อยู่ที่การทรุดตัว $\Delta H = 1 \text{ in } (1/12 \text{ ft})$ หรือ 0.0254 m และ k_{sub} เท่ากับ $q_{\text{ult}} / \Delta H$ สำหรับ $\Delta H = 1/4, 1/2, 3/4 \text{ in, etc.}$ ส่วน factor (อาจจะเป็น 12 หรือ 40) สามารถปรับให้เป็น 48, 24, 16 หรืออื่นๆ ซึ่งค่าอย่างต่างๆก็ควรจะใช้เท่ากับ 12

ส่วนรูปแบบทั่วไปของสมการทั้งตามแนวนอนและแนวราบของ subgrade reaction ก็คือ

$$k_{\text{sub}} = A_s + B_s * Z^n \quad (2-10)$$

ซึ่ง $A_s =$ ค่าคงที่ทั้งขึ้นส่วนตามแนวนอนและแนวตั้ง

$B_s =$ ค่าสัมประสิทธิ์ ความลึก

$Z =$ ความลึกจากระดับของ ground

$n =$ ค่า exponents ที่ให้ค่า k_{sub} เหมาะสมที่สุด (ถ้ามี load test หรือข้อมูลอื่นๆ)

ทั้งค่า A_s และ B_s ในสมการนี้อาจจะเป็นศูนย์ ที่ระดับผิวดิน A_s จะเป็นศูนย์ สำหรับค่า k_{sub} ตามแนวราบ แต่ที่ระดับลึกลงไปหน่อยค่า A_s จะมีค่ามากกว่าศูนย์ สำหรับฐานรากทั่วไปและฐานรากแผ่ ค่า $A_s > 0$ และ $B_s \sim 0$

จากสมการ (2-10) สามารถนำมาใช้เหมือนกับสมการหาความสามารถรับแรงดันของดิน ดังนั้น เอกสารนี้จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_{ult} = c N_c S_c + r Z N_q S_q + 0.5 r B N_r S_r$$

จากการสังเกตจะเห็นว่า

$$A_s = C (c N_c S_c + 0.5 r \cdot B N_r S_r)$$

และ

$$B_s Z' = C (r N_q S_q) Z'$$

เราก็จะได้รับค่า k_{su} สำหรับสมการนี้เราสามารถหาค่า factors ความสามารถในการรับแรงกดจาก Terzaghi หรือ Handson

ค่า factor C เท่ากับ 12 สำหรับหน่วย Fps และ 40 สำหรับหน่วย SI เป็นเหตุผลเดียวกันถ้าไม่มี safety factor สมการนี้ก็จะให้ค่า q_{ult} โดยตรง

Range of values of modulus of subgrade reaction k_s

Use values as guide and for comparison when using approximate equations

Soil	k_s , kcf	k_s , kN/m ³
Loose sand	30-100	4800-16 000
Medium dense sand	60-500	9600-80 000
Dense sand	400-800	64 000-128 000
Clayey medium dense sand	200-500	32 000-80 000
Silty medium dense sand	150-300	24 000-48 000
Clayey soil:		
$q_u \leq 200$ kPa (4-ksf)	75-150	12 000-24 000
$200 < q_u \leq 400$ kPa	150-300	24 000-48 000
$q_u > 800$ kPa	> 300	> 48 000

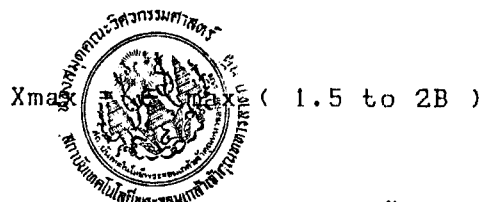
ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงค่า Modulus of Subgrade Reaction

ตารางที่ 2-1 สามารถใช้ประมาณหาค่า k_{su} เป็นที่สังเกตว่าถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่า 2-3 เท่าของค่าในตาราง ก็ควรจะมีการตรวจสอบว่ามีการผิดพลาดที่จุดใดบ้าง ซึ่งถ้าไม่พบจุดผิดพลาด ก็ลองใช้วิจารณ์ดูว่าเป็นค่าที่เหมาะสมอย่างไรและตระหนักด้วยว่าค่าที่ให้มาในตารางนั้นใช้เป็นแนวทางเท่านั้น

ค่าของ X_{max} ในรูป (2-2c) นั้นอาจจะประมาณค่าว่าน้อยคือประมาณ 12 หรือ 25 mm. หรือดูจาก load settlement curve มันจะสามารถประมาณได้จากค่า strain ที่มากที่สุด ในการทดลอง triaxial compression

จากค่า strain max , ϵ_{max} จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่า 1.5 ถึง 2 B นั้นเป็นค่าความลึกที่เหมาะสม สำหรับชั้นส่วนโครงสร้าง

2.3. การวิเคราะห์โครงสร้างฐานรากแบบ combine โดยใช้ finite element

finite element เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการแก้ปัญหาและเป็นการง่ายในการคำนวณ boundary conditions, น้ำหนักของฐานราก ซึ่งวิธีนี้มีความคล่องตัวมากกว่าวิธี finite difference ซึ่งต้องการสมการ different สำหรับปลาย และ boundary conditions และเป็นการยากขึ้นมาก ถ้าชั้นส่วนมีความยาวที่แตกต่างกัน

หากต้องการรายละเอียดเกี่ยวกับ finite element ก็สามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จาก Wang (1970) และ Bowles (1974a)

2.3.1. สมการทั่วไปที่ใช้ในการแก้ปัญหา

สำหรับชั้นส่วนใดๆ ก็ตามก็จะ node เริ่มต้น และ node ปลาย ซึ่งเราสามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$P_i = A_i F_i$$

ซึ่งความสัมพันธ์นี้ แรงภายนอกที่ node , P มีค่าเท่ากับ A (matrix จัตุรัส) คูณด้วยกับแรงภายในของชั้นส่วน, F ; เราจะตกลงกันไว้ว่าเมื่อกล่าว P และ F อาจหมายถึงแรงหรือ moments ก็ได้ ซึ่งสมการเขียนอยู่ในรูปแบบเทอมสั้นๆ แทนการเขียนในรูปแบบที่เป็น matrix ซึ่งจะเป็นการเขียนย่อ ส่วน A, F_i ก็จะรวมกันเป็นค่า nodal force ที่ i

สำหรับรูปแบบเต็มของความสัมพันธ์ของโครงสร้างใดๆ เราจะเขียนเป็น

$$P = A F \quad (2-11)$$

โดยที่ P และ F เป็น column vector และ A ก็เป็น matrix จัตุรัส

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง internal member deformation , e ที่ Node ใดๆ กับ external nodal displacements คือ

$$e = B X$$

โดยที่ e และ X เป็นได้ทั้ง rotations (radians) หรือ translations จากเอกสาร structural mechanics จะเห็นว่า B = A^T ที่ตั้งนั้น ไม่น่าจะอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = A^T * X \quad (2-12)$$

โดยที่ internal member forces, F ก็จะมีความสัมพันธ์กับ internal member displacement ดังนี้

$$F = S e \quad (2-13)$$

ซึ่ง 3 สมการนี้เป็นสมการพื้นฐานในการวิเคราะห์โดยวิธี finite element แทน 2-12 ลง 2-13

$$F = S e = S * A^T * X \quad (2-14)$$

แทน 2-14 ลง 2-11

$$P = A F = ASA^T X \quad (2-15)$$

ตอนนี้ในสมการ 2-15 ตัวที่ไม่ทราบค่าตัวเดียวในระบบของสมการก็คือ X 's ดังนั้น เราต้อง invert ASA^T เราจะได้

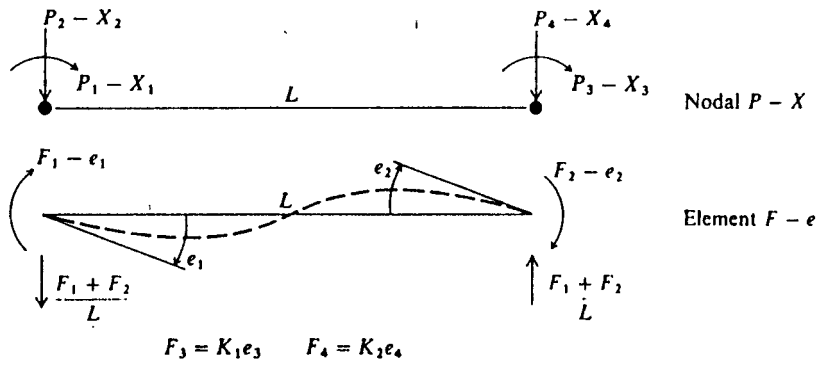
$$X = (ASA^T)^{-1} P \quad (2-16)$$

โดยที่ X เราสามารถนำมา back substitute ลงไปใน สมการ 2-14 ก็จะได้ค่า internal member forces ซึ่งเป็นตัวที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบ ซึ่ง finite element ก็จะให้ค่าที่สำคัญเรา 2 อย่าง ก็คือ

(1) deformation data

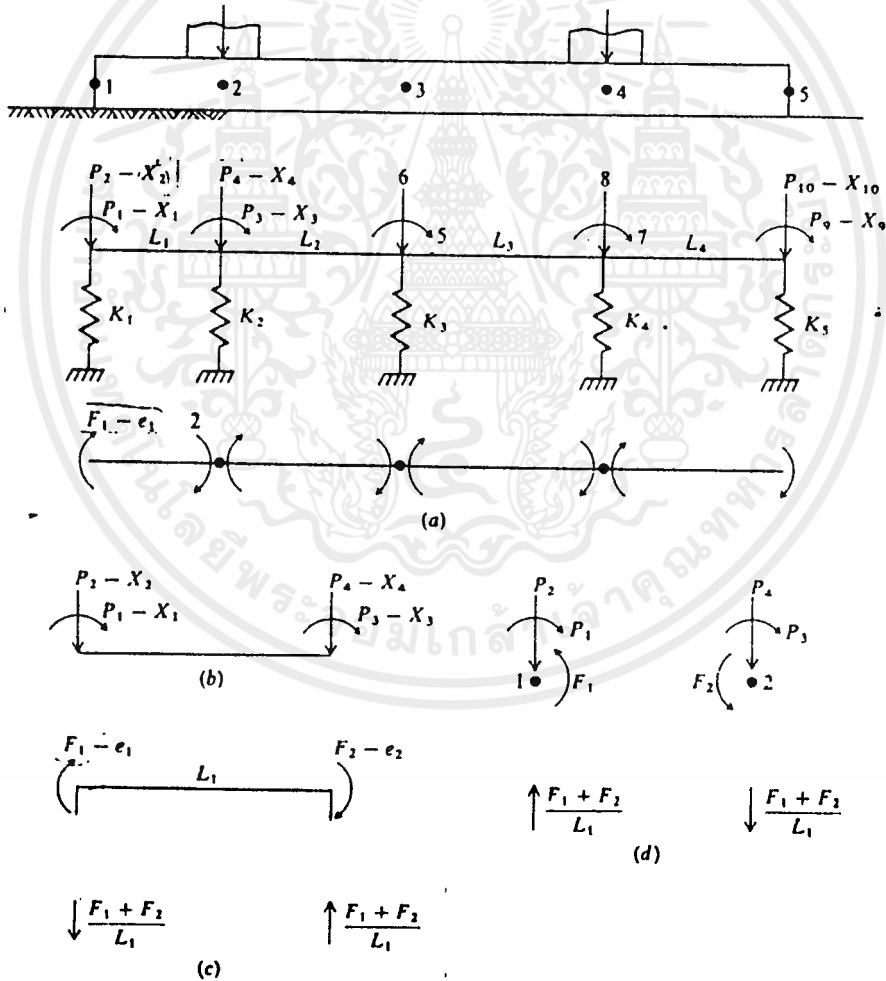
(2) internal forces data

matrix ASA^T ที่ทางบน มักจะนิยมเรียกว่า global matrix เนื่องจากมันแสดงให้เห็นระบบสมการทั้งหมดที่จะนำมาใช้ในการหาค่า P หรือ X แต่ขั้นตอนแรกเราจะต้องหาค่า element $EASA^T$ ก่อน แล้วค่อยๆสร้าง global ASA^T ตามวิธีทาง matrix



รูป 2-3

External (nodal) และ internal (member) finite-element forces



รูปที่ 2-4 (a) Structure and structure broken into finite elements with global $P-X$ (b) $P-X$ of first element (c) element forces of any element (d) summing nodal forces

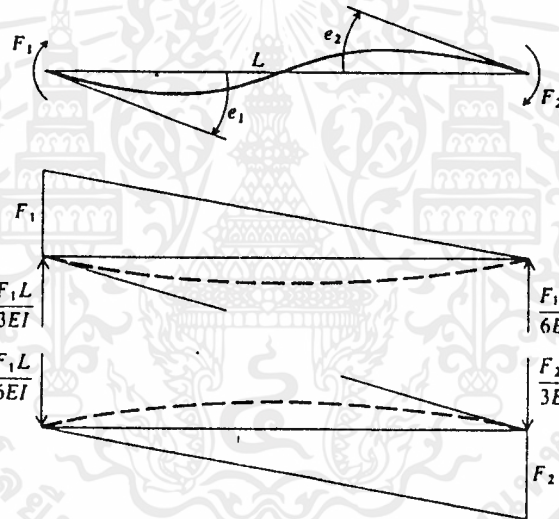
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3. การหาค่า matrix S

หากพิจารณา single simple beam element ที่แสดงใน รูป 2-5 ซึ่งเราสามารถ
ใช้ conjugate beam ; ซึ่งเราจะได้อค่า e_1 และ e_2 ดังนี้
โดยที่ค่า e_1, e_2 คือ end slope

$$\frac{F_1 L}{3 E I} - \frac{F_2 L}{6 E I} = e_1 \quad (2-17)$$

$$- \frac{F_1 L}{6 E I} + \frac{F_2 L}{3 E I} = e_2 \quad (2-18)$$



รูปที่ 2-5

Conjugate-beam relationships between end moments and beam rotations

แก้สมการ 2-17 และ 2-18 โดยจัดในรูป F ได้ดังนี้

$$F_1 = \frac{4 E I}{L} e_1 + \frac{2 E I}{L} e_2$$

$$F_2 = \frac{2 E I}{L} e_1 + \frac{4 E I}{L} e_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า element s matrix ก็คือ

	e	1	2
F			
1		$4EI/L$	$2EI/L$
2		$2EI/L$	$4EI/L$

2.3.4. การหา element SA^T และ ASA^T matrices

ESA^T matrix ได้มาจากการนำ ES matrix มาคูณกับ transpose ของ EA matrix ซึ่งจะแสดงให้เห็นในภายหลังและ $EASA^T$ (บางทีเรียกค่า K) ได้มาจาก ลักษณะเดียวกันกับ ESA^T คือ นำค่า EA matrix มาคูณกับ ESA^T อีกที

ส่วน node soil spring ก็มีหน่วยเป็น (F / L) ซึ่งได้มาจากนำค่า modulus of subgrade reaction มาคูณด้วยพื้นที่ที่ node นั้น ครอบคลุม ซึ่งค่า k_s ก็คือค่าคงที่ ซึ่งสูตรการคำนวณเป็นดังนี้

$$k_1 = \frac{L_1}{2} B k_s$$

$$k_2 = \frac{L_1 + L_2}{2} B k_s$$

แต่ในตัวโปรแกรม ข้าพเจ้าใช้เป็น array SSK[J][J] แทน k_1, k_2

Bowles (1974a) ได้แสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ก็คือต้องนำ end springs มาคูณ 2 ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่พอดีเท่ากับ ข้อมูลที่วัดได้ของ Vesic และ Johnson (1963)

ค่า $ESAT$ นี้เราจะเก็บไว้ใน $ESATS$ เพื่อใช้ในการคำนวณ element moments

(F[C1], F[C2])

$$EA^T = \begin{array}{c|cccc} & X & & & \\ \hline e & & & & \\ \hline & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 1 & 1/L & 0 & -1/L \\ \hline 2 & 0 & 1/L & 1 & -1/L \end{array}$$

$$ES = \begin{array}{c|cc} & e & \\ \hline F & & \\ \hline & 1 & 2 \\ \hline 1 & \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} \\ \hline 2 & \frac{2EI}{L} & \frac{4EI}{L} \end{array} \quad \xrightarrow{ESA^T} \quad \begin{array}{cccc} \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & \frac{-6EI}{L^2} \\ \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & \frac{-6EI}{L^2} \end{array}$$

$$EA = \begin{array}{cc|cc} & & & & \\ \hline & 1 & 0 & & \\ \hline & 1/L & 1/L & & \\ \hline & 0 & 1 & & \\ \hline & -1/L & -1/L & & \end{array} \quad \xrightarrow{EASA^T} \quad \begin{array}{cccc} \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & \frac{-6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} + K_1 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{-12EI}{L^3} \\ \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L^2} & \frac{-6EI}{L^2} \\ \frac{-6EI}{L^2} & \frac{-12EI}{L^3} & \frac{-6EI}{L^2} & \frac{+12EI}{L^3} + K_2 \end{array}$$

เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นเราจะต้องเพิ่มค่า k_1 และ k_2 ลงใน $EASA^T$ ซึ่งก็มีสาเหตุมาจากดังนี้

ลองไปดูรูป 2-4 เราสามารถหาผลรวมของ vertical forces บน node ได้
อย่างเช่น node ที่ 1

$$P_2 - \frac{F_1}{L} + \frac{F_2}{L} - k_1 X_2 = 0$$

L

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราก็จะได้

$$P_2 - ASA^T * X_2 - k_1 X_2 = 0$$

ดังนั้น

$$P_2 = ASA^T_{2,2} X_2 + k_1 X_2$$

ซึ่งค่า node spring จะนำไปบวกกันตรงๆกับ ค่า diagonal term ซึ่งมันเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับการรวม soil spring เข้าไปด้วย ดังนั้นมันสามารถสร้างและที่ได้ค่า ASA^T เสร็จ เราก็จะรวมเข้าไปด้วย ด้วย algorithm ทางคอมพิวเตอร์

วิธีตรวจสอบว่า $EASA^T$ และ global ASA^T สูตรถูกต้องหรือไม่ และตัวเลขที่คิดคำนวณได้ถูกต้องหรือไม่ เราสามารถตรวจสอบได้จากความสมมาตรและ diagonal term จะต้องไม่เป็น 0 และค่า soil spring ซึ่งเป็น additive term จะต้องอยู่บน diagonal term เท่านั้น

2.3.5. การหา P matrix

P matrix (column vector) ปกติประกอบด้วย array ที่เป็น 0 แต่เราจะป้อนเฉพาะ ค่า node load ที่ไม่ใช่ 0 เข้าไป ปกติโจทย์ปัญหาในการออกแบบ อาจจะมี หลายๆ load case เพราะฉะนั้นตัวแปร เราจึงกำหนดให้เป็น $PCIJ(j)$ โดย j จะเป็นตัวบอกว่า load case ที่เท่าไร และตัว i จะเป็นตัวบอกว่า load ที่ degree of freedom ลำดับที่เท่าไร เช่นรูปที่ 2-4 เราจะมี column loads ที่ node 2 และ 4 ซึ่งมี 2 load cases ดังแสดง

column	load case	
	1	2
1 (node 2)	140 kips	200 kips
1	100 ft.k	100 ft.k
2	200 kips	300 kips

P matrix ก็จะสามารถ แสดงได้ดังนี้

$$P(3,1) = 100 \quad P(3,2) = -100 \quad (\text{moment entries})$$

$$P(4,1) = 140 \quad P(4,2) = 200 \quad (\text{axial loads})$$

$$P(8,1) = 200 \quad P(8,2) = 300 \quad (\text{axial loads})$$

ซึ่ง load ที่มีทิศทางเดียวกับ p-x coding จะมีเครื่องหมายบวกและตรงข้ามจะมีเครื่องหมายลบ ดังเช่น load case ที่ 2 ที่ column 1 มีค่า moment เป็น ลบ

2.3.6. Boundary Conditions

ข้อดีอีกอย่างของวิธี finite element ก็คือ สามารถนำมาคิด boundary conditions ที่เราทราบค่า displacements หรือ rotations ได้ เมื่อ displacements เป็น 0 วิธีที่ง่ายที่สุดก็คือ ถ้า NP = P-X coding ทั้งหมดที่เป็น free nodes (np=10 ในรูป 2-4) ซึ่งเราต้องการจะ fix node 5 ทั้ง rotations และ translation เลยเราก็จะได้ว่า NP = 8 และโปรแกรมก็จะมีการสร้าง array ขนาด 9*9 แต่ active จริงๆเพียง 8*8

เราจะเห็นว่า ตอน output ค่า displacement เราจะสามารถตรวจสอบได้ว่าค่า displacement ที่ node 5 เป็น 0

เมื่อค่า displacement ซึ่งเป็นค่าคงที่ (รวมทั้งค่า 0.0) ซึ่งจะมี algorithm ที่ใช้กันโดยทั่วไปก็คือ

1. แทนค่า 1 ลงใน diagonal ที่จุดที่ P-X coding นั้นๆ

เช่น ค่า P-X coding ที่ 2 (ค่า settlement ที่ node 1)

ก็จัดการแทน 1 ลงใน global matrix (ดูตัวอย่างประกอบในบทที่ 3)

2. แทน 0 ตลอดทั้งแถวของ ASAT(j,k) โดย k=1 ถึง n ยกเว้น k=j

3. แทนค่า displacement ที่รู้ค่าลงใน P matrix (ดังนั้น $PC_{JJ} =$)

4. $P(i) = P(i) - ASAT(i,j) * \delta$ โดย $i=1, NP$ ยกเว้น $i=j$

และ set ค่า $ASAT(i,j) = 0$ สำหรับ $i=1, NP$ ยกเว้น $i=j$

เมื่อเสร็จสิ้นตามขั้นตอนข้างต้น เราจะได้ ASAT ที่มีทั้งแถวอนและแถวตั้งเป็น 0 ซึ่ง มีจุดตัดที่ (j,j) ซึ่งเป็น 1; ส่วน P matrix ก็จะได้ค่า P(j) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
มันเป็นธรรมดาในด้านกรอกแบบ foundation ซึ่งเราจะรู้ค่าว่าเป็น 0 เช่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ฐานรากบนหิน บนเสาเข็ม

2.3.7. Node Springs

ผู้เขียนเรื่อง finite element ทุกคนมักจะกล่าว effect ของ k_n บน node เป็นลักษณะของ springs; the concentration method ถูกเสนอโดย Newmark (1943) สำหรับการแปรผันในลักษณะ parabolic ระหว่าง k_n และ length ซึ่งวิธีนี้มีความใกล้เคียงทั้งวิธี linear และ curveกำลัง 3 ถ้าระยะห่างระหว่าง node มีค่าไม่มากนัก ส่วนค่าความผิดพลาด เราสามารถดูได้จากการนำผลรวมของ node springs (โดยไม่รวมการ doubling หรือ reduction) จะมีค่าใกล้เคียงกันกับพื้นที่ใต้กราฟ k_n curve ที่สมการที่ให้ไว้โดย Newmark (1943); ส่วนโปรแกรมของข้าพเจ้าก็ใช้สมการของ Newmark เป็น reference เช่นกัน

สำหรับ ค่าคงที่ k_n ที่แสดงโดย k_1, k_2 ก็สามารถนำมาใช้ได้ อย่างเช่น ตัวอย่างของโจทย์ combined footing เราจะเห็นว่า ค่าผลรวมของ node springs เป็นดังนี้

$$\frac{11616}{2} + 11616 + 14520 + \dots + 27588 + \frac{29040}{2} = 370\,550.4$$

ส่วนค่าพื้นที่ใต้กราฟ k_n curve ก็คือ

$$V = B * L * k_n$$

โดย L = ผลรวมของความยาวของชิ้นส่วน = 6.38 m

B = ความกว้าง = 2.64 m

ซึ่งจะได้

$$V = 2.64 * 6.38 * 22\,000 = 370\,550$$

ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก

2.3.8. Spring Coupling

จาก Boussineq analysis ได้ชี้ให้เห็นว่า จุดศูนย์กลางของพื้นที่ที่รับ uniform load จะมีค่าการทรุดตัวมากกว่าที่ขอบ ซึ่งถ้าใช้ค่าคงที่ k_n บนพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

uniform load ก็จะทำให้เกิดการทรุดตัวเหมือนกับ ΔH เนื่องจากการบิดของ computer ถ้าเราจะคำนวณ node spring กระจายไปรอบๆ node area ที่ settlement มีการ coupled ขณะที่ soil spring จาก k_s ไม่มีการ couple ด้วย

k_s (บางคนเรียกว่า Winkler foundation) ใน concept ของ spring เนื่องจาก diagonal term ก็จะมี effect ด้วย

2.3.9. Finite Element Computer Program

ในตัวโปรแกรม จะมีการสร้าง EA และ ES สำหรับ element แต่ละ element หลังจากนั้นจะมีการสร้าง matrix ESAT และ EASAT และแทน EASAT ลงใน global ASAT

เมื่อมีการทำจนครบทุก element แล้ว , global ASAT ($NP \times NP$) เราจะเห็นว่า

$$P_{NP} = A_{NP \times NP} S_{NP \times NP} A^T_{NP \times NP} X_{NP}$$

ซึ่งเราสามารถลดทอนเป็น

$$P_{NP} = ASAT_{NP \times NP} X_{NP}$$

ซึ่ง ASAT ก็จะเป็นสัมประสิทธิ์ในรูป matrix จตุรัส ซึ่งมีขนาด $NP \times NP$ จากนั้นเราก็จะนำไปแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธี decomposition ซึ่งจะแก้ด้วย band ขนาด 4 ซึ่งเราจะใช้แค่ที่ในการเก็บข้อมูลสัมประสิทธิ์นี้เพียง $NP \times 4$ แทน $NP \times NP$ เนื่องจากลักษณะของ matrix ที่สมมาตรกัน ทำให้สามารถประหยัด หน่วยความจำไปได้มาก

เราจะทำการ invert ASAT แล้วนำไปคูณกับ P matrix ซึ่งจะหาค่า nodal displacement และ rotation จากนั้นเราก็สามารถหา element end moments ได้จาก

$F = SA^T X$ และหา node reaction, R_i และ q_i ก็จะคำนวณจาก

$$R_i = K_i X_i$$

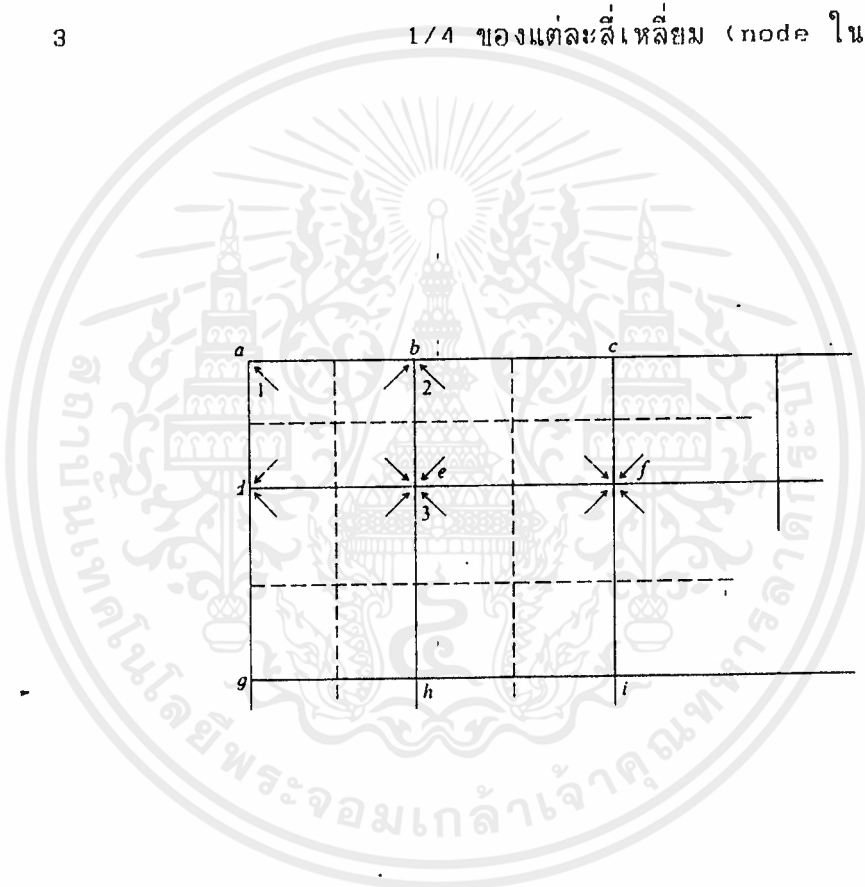
$$q_i = K_s X_i$$

บทที่ 3

3.1. modulus of subgrade reaction (k_u) สำหรับ MAT

การคำนวณ node springs ตามพื้นที่ที่ node นั้นรับ ดังรูปที่ 3-1 เราจะเห็นว่า

Node	พื้นที่ที่รับ
1	1/4 abde (มุม)
2	1/4 abde และ 1/4 bcef (ด้านข้าง)
3	1/4 ของแต่ละสี่เหลี่ยม (node ใน)



รูป 3-1 รูปแสดงการคิดพื้นที่ ที่นำมาคิด ค่า k_u

3.2. FINITE GRID METHOD

วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์ mat หรือ plate ซึ่งมีข้อดีดังนี้

1. ง่ายในการคำนวณผลลัพธ์ เนื่องจากชิ้นส่วนที่มีลักษณะ beam - column ก็จะมีเพียง bending หรือ torsion ค่าโมเมนต์ / unit width ก็เพียงนำ node moment (จากผลรวมของ node) มาหารด้วยความกว้างของ element
2. มันเป็นการง่ายในการได้ผลลัพธ์ ค่า shear ที่ปลาย element ซึ่งเพียงหาจากผลรวมของ element end moments หารด้วย element length และ width ก็จะได้ค่า shear / unit width
3. มันเป็นการง่ายในการป้อนค่า concentrated column moments.
4. Boundary cases ง่ายในการ model เหมือน FEM
5. มันเป็นการง่ายในการขยายจาก 3 degree of freedom nodes ไปเป็น 6 dof nodes ตามต้องการ สำหรับ pile cap analysis ดังที่ Bowles (1983) เคยทำได้

วิธี FGM ก็ใช้วิธีการคิดที่คล้ายคลึงกับ beam finite elements ที่ใช้ในบทที่ 1 เพียงแต่ขยายให้ใช้ได้กับ beam - column (มี torsion) และสามารถใช้สำหรับ plate ได้ ส่วนสมการ ก็ดังเช่นที่เคยกล่าวมาแล้วในบทที่ 1

$$P = A F$$

$$e = A^T X$$

$$F = S e = S A^T X$$

$$P = A S A^T X$$

$$X = (A S A^T)^{-1} P$$

ตอนแรก เรามีความจำเป็นในการหา element EA และ ES matrices โดยใช้ computer จะช่วยลดข้อผิดพลาดของข้อมูลทศนิยม

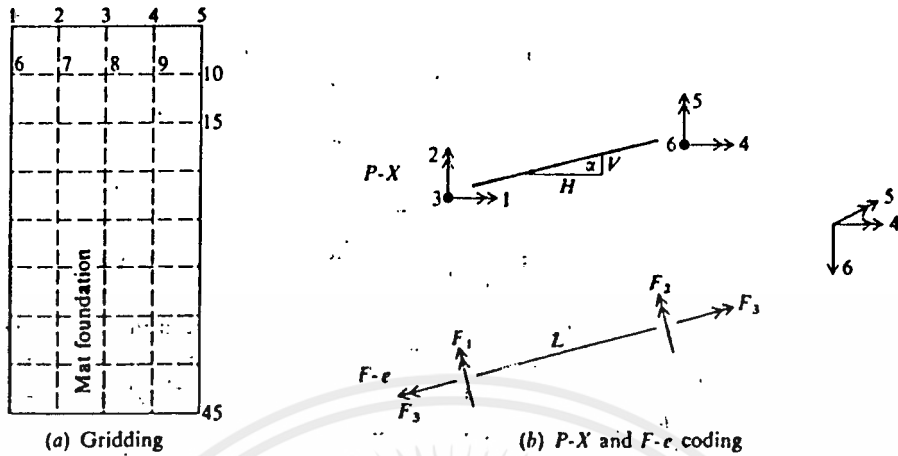
จากรูป 3-1 element EA matrix ได้สร้าง จาก ผลรวม F ที่แต่ละ node ยกตัวอย่างเช่นที่ node 1

$$P_1 = F_1 \sin \beta + 0 F_2 - F_3 \cos \beta$$

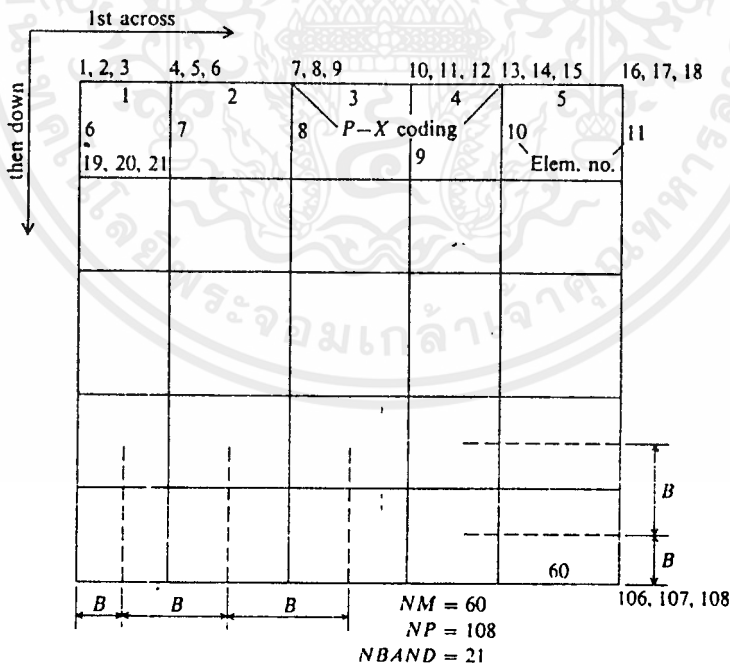
$$P_2 = F_1 \cos \beta + 0 F_2 - F_3 \sin \beta$$

$$P_3 = \underline{F_1} + \underline{F_2} + 0 F_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-2 Method of finite-element (grid) analysis Note that orientation of node numbers in (a) results in a banded stiffness matrix of minimum width of 18 Orient so origin is at upper left corner



รูปที่ 3-3 Typical coding for mat Program sees element widths B as shown above For horizontal members $L=H$ and $V=0$; vertical members $L=V$ and $H=0$; Note use of double the mat area since horizontal and vertical members overlap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และได้ผลลัพธ์ matrix เป็นดังนี้

	F	1	2	3
p				
1		$-\sin \beta$	0	$-\cos \beta$
2		$\cos \beta$	0	$-\sin \beta$
3		$1/L$	$1/L$	0
4		0	$-\sin \beta$	$\cos \beta$
5		0	$\cos \beta$	$\sin \beta$
6		$-1/L$	$-1/L$	0

EA =

ส่วน ES ก็เหมือนเท่าที่ 1 เพียงแค่เพิ่ม torsion factor สำหรับ ES

	F	1	2	3
e				
1		$4EI/L$	$2EI/L$	0
2		$2EI/L$	$4EI/L$	0
3		0	0	$\Omega GJ/L$

ES =

ค่า nodes springs ได้ถูกสร้างขึ้นระหว่าง การรับค่า element และเก็บเป็น array ชื่อ spring หลังจาก global ASAT ได้ถูกสร้างขึ้น (มีลักษณะเป็น แถบ เพื่อประหยัดเวลาและประหยัดหน่วยความจำของ คอมพิวเตอร์) node springs ได้ถูกบวกเพิ่มที่ตำแหน่ง NP ที่เหมาะสม

torsion factor α ควรจะถูกคำนวณสำหรับ rectangle เราจะต้อง adjust factor ด้วยค่า ตลอดช่วงที่มีการ double area (รูปที่ 3-3) เพื่อให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องตามทฤษฎี ดังเช่น Timoshenko และ Woinowsky-Krieger (1959) ค่า factor มีค่าเท่ากับ

$$\alpha = 0.75 L / B \leq 1.1$$

ซึ่ง ค่า L, B = grid element length และ width ตามลำดับ

จาก concept ของ subgrade reaction ซึ่งจะมี support เป็น spring รับพื้นที่ก็จะเป็นการง่ายในการ modify สำหรับ soil separation เนื่องจากสัมประสิทธิ์ค่า soil spring , k_s จะใส่เข้าไปได้เฉพาะ diagonal term เท่านั้น

$$(A_{ii} + K_i) X_i = P_i$$

โดยทั่วไปควรจะรวมน้ำหนักของ mat ในการวิเคราะห์ด้วย โดยน้ำหนักของ mat ไม่ได้ก่อให้เกิด internal - bending moments เนื่องจากน้ำหนักตัวมันเองเนื่องจากคอนกรีตที่เทลงโดยตรงที่ subbase deflections จะมากกว่าเดิม ถ้ามีการรวม น้ำหนักของ mat เนื่องจาก soil springs จะ react ต่อทุกๆ vertical loads

3.3. Preliminary Work

โดยทั่วไป ความลึกของ mat ซึ่งก็จะกำหนดโดย shear และรวมไปถึง steel cover เราจะนำมาคิด moment of inertia ดังนี้

$$I = \frac{B T^3}{12}$$

12

bending moments จะได้รับจากผลลัพธ์จะนำมาคิดคำนวณการใส่เหล็กของ mat ทั้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่จนดานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ทิศทาง

deflections ทั้งหมดมีการแปรผันไปตามค่า k_u ซึ่งผู้ออกแบบควรจะให้ค่า minimum ที่เชื่อถือได้ หรือค่า maximum ที่เป็นไปได้ และนำมาใช้ทั้ง 2 ค่า และจึงพิจารณาตามความเหมาะสม

3.4. Establishing Finite Element Grid

ก่อนการ design เราจะวาดรูป mat plan to scale แล้วก็ใส่ตำแหน่งเสาและผนัง จากนั้นก็กำหนด grid ลงบน plan เช่นกำหนดลงบนจุดที่รู้ rotation หรือ displacements หรืออาจจะวาง grid อย่างไม่รู้ค่า rotation และ displacements; grid element ไม่จำเป็นจะต้องมีขนาดเท่ากัน แต่ผลลัพธ์ที่จะออกมาถูกต้องยิ่งขึ้น ถ้าไม่กำหนด ชิ้นส่วนที่เล็ก ๆ ไว้ใกล้ๆ ชิ้นส่วนที่ใหญ่ (เช่น ชิ้นส่วนขนาด 0.2 m. วางติดกับชิ้นส่วนขนาด 2 m.) การให้ค่า node ของ grid เรามักจะให้เริ่มจากมุมบนซ้าย แล้วไล่ลงมามุมขวา แล้วก็ไล่ลงมาที่มุมข้างล่าง

element data จะประกอบไปด้วย MEMNO และค่า NP 6 ค่า สำหรับแต่ละ element (NPELII) และค่า H, V และ B

การหา nonzero P matrix entries สำหรับแต่ละ load condition ให้ทฤษฎี simple beam สำหรับ pinned column ระหว่าง nodes

ใส่ค่า number of zero boundary conditions (NZX)

คำนวณหาจำนวนของ NP'S : ซึ่งก็คือ $NP = 3 * \text{number of nodes}$ และจะต้องทราบจำนวน members ทั้งหมดด้วย

การคำนวณ bandwidth ของ matrix หาได้ดังนี้

1. หาค่า minimum NP ในแต่ละ node
2. หาค่า maximum NP ใน node ที่ใกล้กัน
3. คำนวณ band width ดังนี้

$$NBAND = NP_{max} - NP_{min} + 1$$

ดังแสดงในรูป 3-3 $NBAND = 21 - 1 + 1 = 21$ (element 6) ขนาดของ band matrix I ก็คือ

$$I = NBAND * NP$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5. The Solution Procedure

displacements $X = (ASA^T)^{-1} P$ เราสามารถหา $F = SA^T X$ ในแต่ละ element เพื่อหา element forces

คอมพิวเตอร์ โปรแกรมจะทำการคูณเพื่อ form element SA^T และ ASA^T (EASAT) โดย element EASAT จะมีขนาด $6 * 6$ ค่า EASAT ก็จะถูกจัดวางลงในตำแหน่งที่เหมาะสม ใน global ASA^T (A^SAT) เพื่อใช้ในการหาผลลัพธ์

คอมพิวเตอร์ routine ต่อไปจะอ่านค่า A^SAT จาก disk และเก็บใน memory (จากรูป 3-4) แล้วใช้ค่ามุมล่างขวาเป็น 0 ค่า boundary conditions ก็จะถูก applied ถ้าถูกระบุ ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ในแถว และ upper diagonal ที่เหมาะสมเป็น 0

ด้วยวิธีนี้ band reduction Method ค่า displacements จะถูกเปลี่ยนด้วย P matrix ที่การสิ้นสุดของการลดทอน ถ้าต้องการเก็บ P-matrix ตั้งเดิไว้ ก็จะต้องจัดเก็บในตัวแปรชั่วคราว ค่า X's ที่อยู่ในรูปของ P's ก็จะถูกใช้ในการคำนวณ F's ถ้า negative deflections occur (tension soil springs) ค่า stiffness matrix ก็จะถูก rebuilt ด้วย no-springs ($k=0$) ที่ node เหล่านั้น

โปรแกรมคำนวณ element bending และ torsion forces โดยใช้สูตร

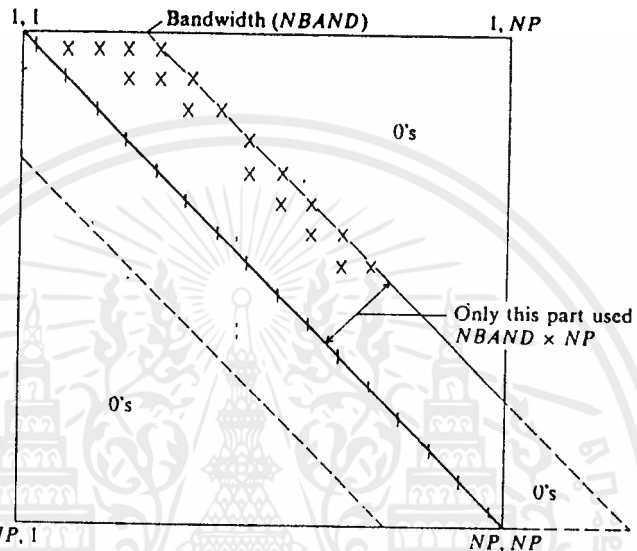
$$F = ESA^T X$$

คราวนี้เราต้องการใช้ค่า ESAT มาคำนวณ เราก็จะอ่านค่ามาจาก แผ่น disk ซึ่งมันสามารถทำได้เฉพาะ node springs ถูกบวกเพิ่มเข้าไปใน spring array มิฉะนั้น element ks ก็จะถูกรวมเข้าไปใน ESAT.

การหาผลรวมของค่า soil node forces ($X_i k_i$) เพื่อเปรียบเทียบกับผลรวมทาง vertical forces ซึ่งก็คือว่า เป็น a quick statics check ส่วนค่า node moments ก็จะสามารถใช้ในการ design ได้โดยนำไปหารค่า element width (ซึ่งก็จะได้ค่า moment / unit width)

การออกแบบ ค่า shear ต้องการ listing ของ element forces เพื่อ two end element values สามารถรวมได้ (ตามเครื่องหมาย) และสามารถหาร element length และ element width เพื่อจะได้ค่า shear / unit width ที่แต่ละ node ผลรวมของ vertical applied force (จาก P -matrix) + soil reaction + element shears = 0

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-4 แสดง matrix ASA^T ที่เราจะใช้ข้อมูลเฉพาะที่อยู่ในช่อง $nband$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการทำงานในโปรแกรม

4.1. ลำดับขั้นตอนของโปรแกรม Combined Footing

4.1.1. รับค่าข้อมูลต่างๆ ซึ่งในโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น

- Global Variables เป็นการรับค่า Modulus of Subgrade Reaction, Modulus of concrete, Thickness, Width ฯลฯ
- Element Data เป็นการรับค่าความยาวของแต่ละ Element
- Load เป็นการรับค่า External Forces ที่กระทำต่อตัวโครงสร้าง
- Nodal Displacement เป็นการรับค่า Displacement

4.1.2. ขั้นตอนการคำนวณ

4.1.2.1. การหาค่า Sum Applied Force

เมื่อรับค่า Load Data มาแล้ว เราก็จะนำค่าที่เป็น Vertical Force มาหาผลรวมตั้งแต่ Node ที่ 1 ไปจนถึง Node สุดท้าย แล้วเก็บเป็นค่าตัวแปร Sump[] (Sum Applied Force) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่ากับ Sum Spring Force ซึ่งจะช่วยให้เรา Check ความถูกต้องของผลการคำนวณได้

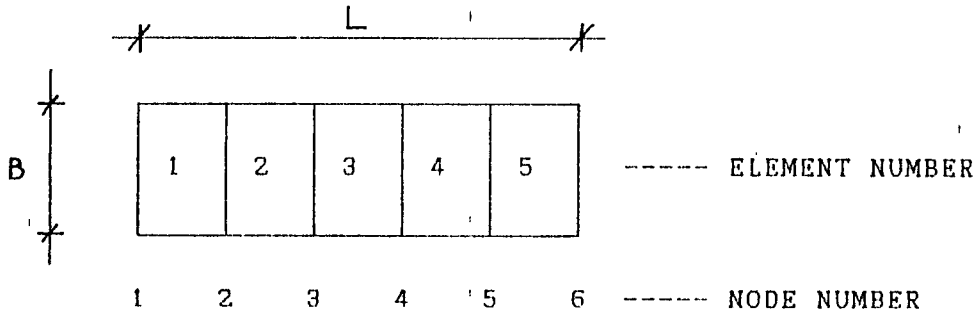
4.1.2.2. การหาค่า Node Spring มีหน่วยเป็น Force per Length โดยการนำค่า Modulus of Subgrade Reaction มาคำนวณ โดยใช้สูตรดังนี้

$$SSK = B * \frac{L}{2} * SSK$$

โดยที่ SSK มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่า Soil Element Spring

B = ความกว้าง

L = ความยาว



จากนั้นเราก็จะนำมาคำนวณหา Node Spring ได้ดังนี้

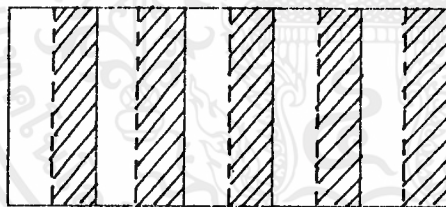
$$\text{จากสูตร Node Spring} = \text{SSK1} + \text{SSK2}$$

แต่ถ้าเป็น End Element ตามข้อเสนองของ Bolwes ได้แนะนำให้ Double ก็คือ

$$\text{Node Spring} = \text{SSK} * 2$$

เพื่อความเข้าใจโปรดดูตัวอย่างประกอบ

SSK1 SSK2 SSK3 SSK4 SSK5



1 2 3 4 5 6 ----- NODE NUMBER

PLAN

$$\text{Node Spring}[1] = \text{SSK1} * 2$$

$$\text{Node Spring}[2] = \text{SSK1} + \text{SSK2}$$

$$\text{Node Spring}[3] = \text{SSK2} + \text{SSK3}$$

$$\text{Node Spring}[4] = \text{SSK3} + \text{SSK4}$$

$$\text{Node Spring}[5] = \text{SSK4} + \text{SSK5}$$

$$\text{Node Spring}[6] = \text{SSK5} * 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3. การหา matrix ASA^T

จากสมการ $P = AF$ สามารถแปลงเป็น $P = ASA^T X$

เพื่อหาค่า X (internal displacement) เราจะต้องมีการสร้าง matrix ASA^T ขึ้นมาก่อน

Element A matrix มีรูปแบบดังนี้

$$EA = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{L} & \frac{1}{L} \\ 0 & 1 \\ -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix}$$

Element S matrix มีรูปแบบดังนี้

$$ES = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} \\ \frac{2EI}{L} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

ในแต่ละ Element ซึ่งเราทราบค่าทั้ง ES และ EA แล้ว
เราก็จะทราบค่า EASAT ดังนี้

$$EASAT = EA * ES * EA^T$$

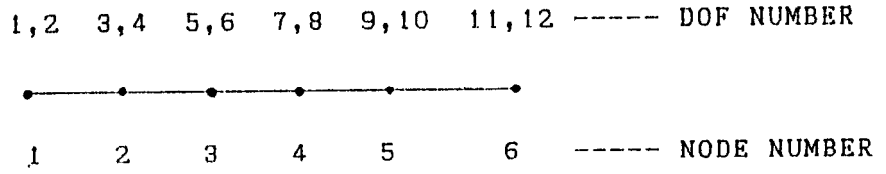
โดยที่ EASAT = Element ASA^T matrix

EA = Element A matrix

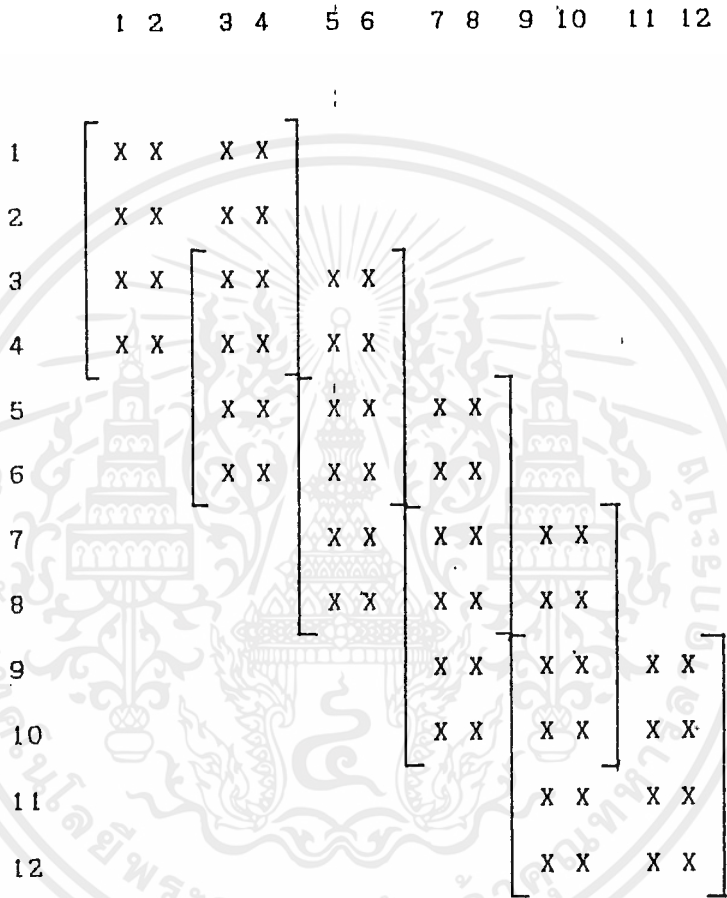
ES = Element S matrix

จากนั้น เราก็จะจัดวาง EASAT ลงใน matrix ASA^T ในตำแหน่งที่เหมาะสมตาม DOF Number
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างเช่น



เนื่องจาก EASAT เป็น matrix ขนาด 4 * 4 การจัดวาง matrix นี้ลงไปจึงมีลักษณะดังรูปที่ 4-1



รูป 4-1 แสดงการจัดวางของ Element EASAT ลงใน ASA^T

ซึ่งสมการ $P = (ASA^T)^{-1} X$ มีขนาดรูปร่างของ matrix ดังนี้

โดย P และ X เป็น column matrix ขนาดเท่ากับ จำนวนของ DOF ทั้งหมด (Number of DOF) * 1

ส่วน $(ASA^T)^{-1}$ เป็น matrix จตุรัส ขนาดเท่ากับ จำนวนของ DOF ทั้งหมด * จำนวน DOF ทั้งหมด

ดูรูปข้างล่างประกอบเพื่อเพิ่มความเข้าใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่วงกลมนั้น คือ ส่วนที่จะจัดเก็บ ดังนั้น ขนาดของข้อมูล matrix $(ASA^T)^{-1}$ นั้น จะใช้เพียง nband * จำนวนของ DOF ทั้งหมด ดังเช่นในตัวอย่าง นี้ก็จัดเก็บเพียง $4 * 12$ ซึ่งเท่ากับ 48 แทนที่จะต้องใช้เนื่องจากการจัดเก็บเท่ากับ $12 * 12 = 144$ ซึ่งประหยัดกว่ามากซึ่งยิ่งข้อมูลยิ่งมีขนาดใหญ่มากขึ้น ก็จะประหยัดเนื่องจากการจัดเก็บมากขึ้นอีกทีคูณ ซึ่งการใช้เนื้อที่จัดเก็บน้อยลงนี้ก็ย่อมหาความถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะน้อยลงด้วย

4.1.2.4. การ Modify

เป็นขั้นตอนการปรับปรุงค่า stiffness matrix และ load matrix ก่อนการนำมาทำการ solve ซึ่งมีการปรับปรุงอยู่ 2 กรณี คือ

1. เพื่อเพิ่มค่า soil spring ลงใน stiffness matrix
2. เพื่อปรับปรุง stiffness matrix และ load matrix เนื่องจาก displacement

การเพิ่มค่า soil spring ลงใน stiffness matrix

เนื่องจากสมการ $P = (ASA^T)^{-1} X$ ยังไม่ได้คำนึงถึงผลเนื่องจาก spring ซึ่งถ้าพิจารณารูปที่ 4-4 จะพบว่า ก็คือสมการ $P_2 = \frac{F_1 + F_2}{2}$ นั้นเอง (หากยังไม่พิจารณา spring)

แต่ถ้าพิจารณาผลจาก spring แล้ว จะได้สมการ

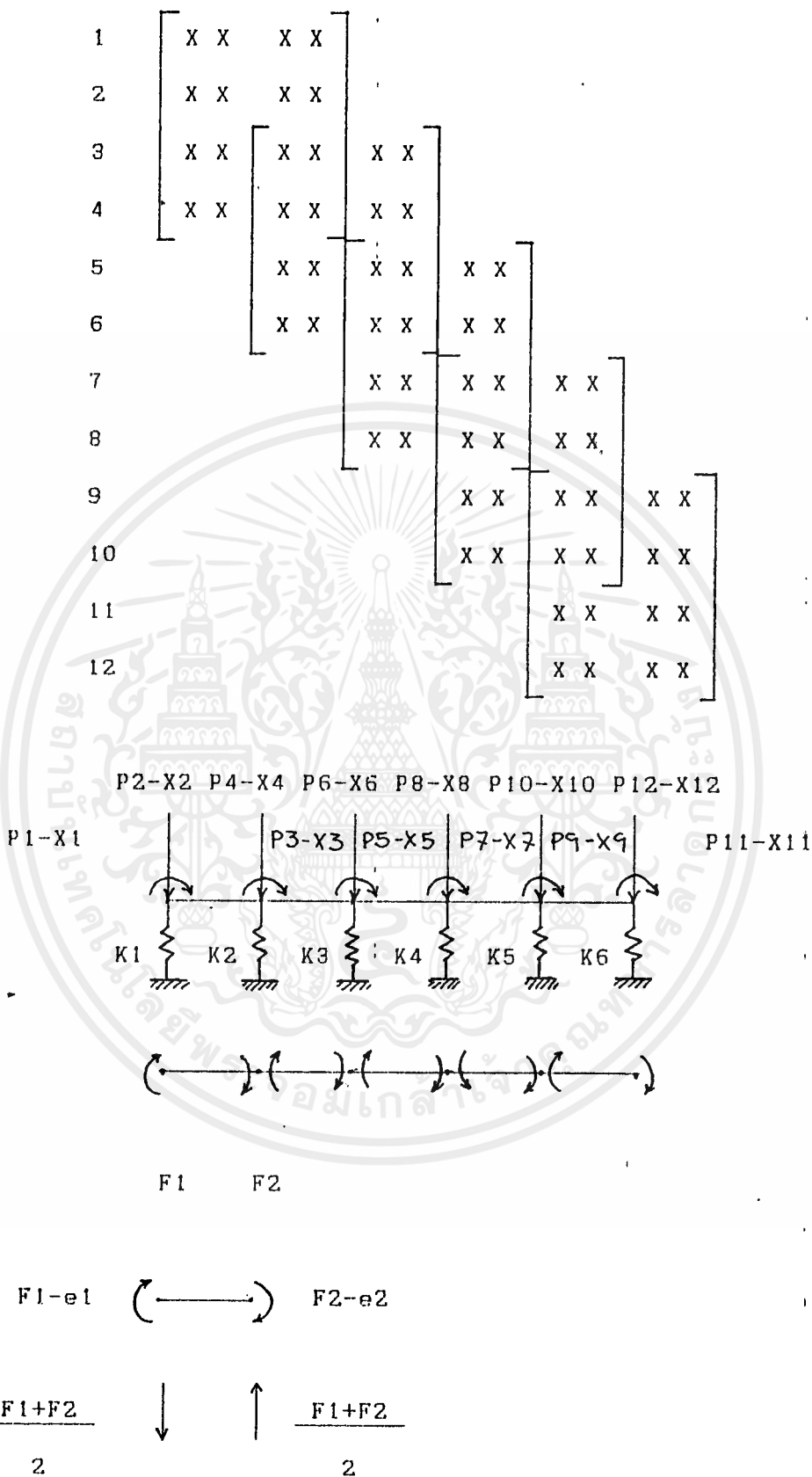
$$P_2 - \frac{F_1 + F_2}{2} = K_1 * X_2$$

ซึ่งก็คือ $P_2 - ASA^T_{2,2} = K_1 * X_2$

$$P_2 = (ASA^T_{2,2}) X_2 \quad \text{นั่นเอง}$$

ดังนั้นเราจะต้องเพิ่มค่า soil spring ลงไปที่ diagonal term เพื่อเพิ่มความเข้าใจจึงยกตัวอย่างประกอบดังนี้

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



รูปที่ 4-4 แสดงการกำหนดตัวแปรต่างๆในโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นั่นคือ
- ที่ DOF หมายเลข 2 เราจะต้องเพิ่มค่า K_1 ลงไป
 - ที่ DOF หมายเลข 4 เราจะต้องเพิ่มค่า K_2 ลงไป
 - ที่ DOF หมายเลข 6 เราจะต้องเพิ่มค่า K_3 ลงไป
 - ที่ DOF หมายเลข 8 เราจะต้องเพิ่มค่า K_4 ลงไป
 - ที่ DOF หมายเลข 10 เราจะต้องเพิ่มค่า K_5 ลงไป
 - ที่ DOF หมายเลข 12 เราจะต้องเพิ่มค่า K_6 ลงไป

ซึ่งก็จะแสดงภาพ stiffness matrix , $(ASA^T)^{-1}$ matrix ได้ดังรูปที่ 4-5

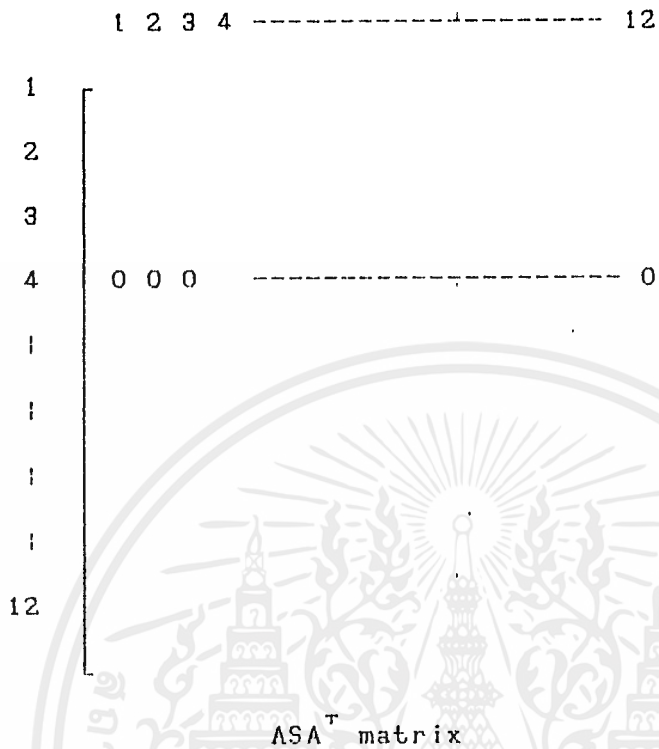
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	X	X		X	X							
2	X	X		X	X							
3	X	X	X	X	X	X						
4	X	X	X	X	X	X						
5			X	X	X	X	X	X				
6			X	X	X	X	X	X				
7					X	X	X	X	X	X		
8					X	X	X	X	X	X		
9							X	X	X	X	X	X
10							X	X	X	X	X	X
11									X	X	X	X
12										X	X	X

รูปที่ 4-5 แสดงการเพิ่มค่า Spring Force เข้าไปใน matrix ASA^T

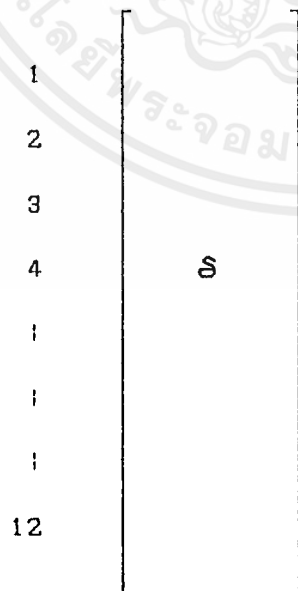
โดย หมายถึง จุดที่มีการเพิ่มค่า Spring Force เข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จะได้ตั้งรูปข้างล่างนี้



3. จะได้ตั้งรูปข้างล่างนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับLOAD matrix วิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จะได้ดังรูปข้างล่างนี้

$$\begin{array}{c}
 1 \\
 2 \\
 3 \\
 4 \\
 | \\
 | \\
 | \\
 12
 \end{array}
 \left[
 \begin{array}{c}
 P[1] - ASAT[1, E] * \delta \\
 P[1] - ASAT[1, E] * \delta \\
 P[1] - ASAT[1, E] * \delta \\
 P[1] - ASAT[1, E] * \delta \\
 | \\
 | \\
 | \\
 P[1] - ASAT[1, E] * \delta
 \end{array}
 \right]$$

LOAD matrix

5. จะได้ดังรูปข้างล่างนี้

$$\begin{array}{c}
 1 \\
 2 \\
 3 \\
 4 \\
 | \\
 | \\
 | \\
 | \\
 12
 \end{array}
 \left[
 \begin{array}{cccc}
 1 & 2 & 3 & 4 \\
 0 & & & \\
 0 & & & \\
 0 & & & \\
 | & & & | \\
 | & & & | \\
 | & & & | \\
 | & & & | \\
 0 & & & 12
 \end{array}
 \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ASA matrix
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.5. การ solve

ขั้นตอนที่เราจะได้ $P = (ASA^T)^{-1} X$ ซึ่งเราทราบค่าทุกค่าแล้วยกเว้น X เพราะฉะนั้นเราสามารถแก้หาค่า X ได้ โดยวิธีการทาง matrix วิธีใดวิธีหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นวิธี Gauss elimination หรือ Gauss seidal ฯลฯ ซึ่งวิธีเหล่านี้มีระเบียบขั้นตอนวิธีการทำที่แน่นอน สามารถนำมาเขียนเป็น algorithm ทางคอมพิวเตอร์ได้ง่าย ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามถนัด

4.1.2.6. การหาค่า Force, Displacement, Spring Force

การหาค่า Displacement

หลังจากที่เรา Solve หาสมการ $P = (ASA^T)^{-1} X$ แล้ว เราก็จะได้ค่า Displacement ได้เนื่องจากเป็นผลการคำนวณโดยตรงอยู่แล้ว

การหาค่า internal member forces

$$F = S e = SA^T X$$

เราทราบค่า SA^T และเราทราบ Displacement X แล้ว เราก็สามารถนำมาหาค่า F ได้ โดยการนำมาคูณกัน ซึ่งเป็นการสะดวกมาก

ในการคำนวณเราจะแบ่งเป็น Element โดย

SA^T เป็น matrix ขนาด $2 * 4$, เนื่องจาก S เป็น matrix ขนาด $2 * 2$, A^T เป็น matrix ขนาด $2 * 4$ ซึ่งเราก็จะคำนวณไปจนครบทุก Element

การหาค่า Spring Force

หาได้โดยการนำค่า Displacement เนื่องจาก vertical external force, load มาคูณกับค่า Node Spring ตามสูตรดังนี้

$$\begin{array}{ccccc} \text{Spring Force} & = & X2 & * & \text{Node Spring} \\ (\text{force}) & & (\text{length}) & & (\text{force/length}) \end{array}$$

การหาค่า Soil Spring

หาได้โดยการนำค่า Displacement เนื่องจาก vertical external force, load มาคูณกับค่า Soil Modulus ตามสูตรดังนี้

$$\text{Soil Pressure} = X^2 * \text{Soil Modulus}$$

(force/length*2) (length) (force/length*3)

4.2. ลำดับขั้นตอนของโปรแกรม Mat. Foundation

มีลำดับขั้นตอนเช่นเดียวกันกับ Combined Footing ต่างกันตรงที่ การสร้าง Element A matrix และ Element S matrix โดยที่

EA =

1	$-\sin \beta$	0	$-\cos \beta$
2	$\cos \beta$	0	$-\sin \beta$
3	$1/L$	$1/L$	0
4	0	$-\sin \beta$	$\cos \beta$
5	0	$\cos \beta$	$\sin \beta$
6	$-1/L$	$-1/L$	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		e	1	2	3
ES =	F				
	1		$4EI/L$	$2EI/L$	0
	2		$2EI/L$	$4EI/L$	0
	3		0	0	GJ/L



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ตัวอย่างการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์โครงสร้างฐานราก

ในบทนี้จะแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ

1. ตัวอย่างการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ COMBINED FOOTING
2. ตัวอย่างการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ MAT FOUNDATION

5.1. ตัวอย่างการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ COMBINED FOOTING

5.1.1. ระบบ MENU

MAIN MENU

```
=====
Analyst Combined Footing Program
=====
```

Main Menu

```
F = File
D = Data
S = Solution
R = Result
Q = Quit
```

SELECT =

ESC TO QUIT THIS MENU

RESULT MENU

Result Menu

M = Moments
S = Spring force
D = Displacements
P = Soil Pressure

SELECT =



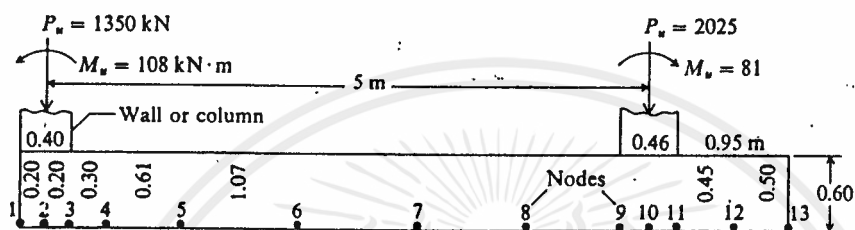
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2. ตัวอย่างที่ 1 (COMBINED FOOTING)

$$k_s = 22,000 \text{ KN/M}^3$$

$$E_c = 21,700 \text{ MPa}$$

$$B = 2.64 \text{ m.}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
=====
Global Variables
=====
```

Force Unit (KN)

Length Unit (M)

Modulus of subgrade reaction = 2.200e+04 KN/M*2

Modulus of concrete = 2.170e+07 KN/M*2

Width of elements = 2.640e+00 M

Press any key to continue

```
=====
Element data
=====
```

Element	Length (M)
1	0.200
2	0.200
3	0.300
4	0.610
5	1.070
6	1.070
7	0.910
8	0.610
9	0.230
10	0.230
11	0.450
12	0.500

Press any key to continue...

Load Data

Node	Moment KN-MKN	Load
1	0.00	0.00
2	-108.00	1350.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
6	0.00	0.00
7	0.00	0.00
8	0.00	0.00
9	0.00	0.00
10	81.00	2025.00
11	0.00	0.00
12	0.00	0.00
13	0.00	0.00

Press any key to continue...

Nodal Displacement

DOF	Displacement
-----	--------------

Press any key to continue...



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Moment (near) KN-M	Moment (end) KN-M
1	0.11	-27.52
2	-80.31	297.07
3	-296.96	575.10
4	-575.11	977.96
5	-977.97	1226.15
6	-1226.15	986.00
7	-986.01	406.24
8	-406.25	-193.94
9	194.06	-467.88
10	548.91	-384.02
11	384.11	-141.14
12	141.17	-0.00

Press any key to continue...

Displacements

Node	Rotations(Rads)	Deflections(M)
1	-2.514e-03	1.182e-02
2	-2.517e-03	1.132e-02
3	-2.480e-03	1.082e-02
4	-2.354e-03	1.009e-02
5	-1.894e-03	8.782e-03
6	-7.507e-04	7.344e-03
7	3.970e-04	7.177e-03
8	1.011e-03	7.857e-03
9	1.074e-03	8.511e-03
10	1.000e-03	8.750e-03
11	8.963e-04	8.968e-03
12	7.817e-04	9.341e-03
13	7.474e-04	9.721e-03

Press any key to continue...

Node	Soil_Modulus KN/M*3	Node_Spring KN/M	Spring_Force KN
1	22000.00	11616.00	137.30
2	22000.00	11616.00	131.46
3	22000.00	14520.00	157.06
4	22000.00	26426.40	266.63
5	22000.00	48787.20	428.44
6	22000.00	62145.61	456.39
7	22000.00	57499.20	412.67
8	22000.00	44140.80	346.80
9	22000.00	24393.60	207.61
10	22000.00	13358.40	116.89
11	22000.00	19747.20	177.09
12	22000.00	27588.00	257.71
13	22000.00	29040.00	282.29
Sum applied forces =		3375.00 KN	Sum spring forces = 3378.35 KN

Press any key to continue...

Node	Soil_Pressure (KN/M*2)
1	260.04
2	248.98
3	237.97
4	221.97
5	193.20
6	161.57
7	157.89
8	172.84
9	187.24
10	192.51
11	197.29
12	205.51
13	213.86

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

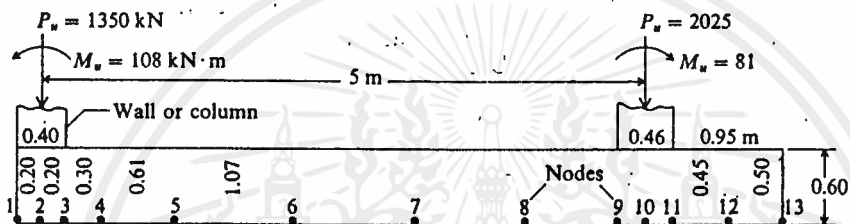
5.1.3. ตัวอย่างที่ 2 (COMBINED FOOTING)

$$k_s = 22,000 \text{ KN/M}^3$$

$$E_c = 21,700 \text{ MPa}$$

$$B = 2.64 \text{ m.}$$

$$\text{SETTLEMENT AT NODE 3} = 0.02 \text{ m.}$$





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
=====
Global Variables
=====
```

Force Unit (KN)

Length Unit (M)

Modulus of subgrade reaction = 2.200e+04 KN/M*2

Modulus of concrete = 2.170e+07 KN/M*2

Width of elements = 2.640e+00 M

Press any key to continue

```
=====
Element data
=====
```

Element	Length (M)
1	0.200
2	0.200
3	0.300
4	0.610
5	1.070
6	1.070
7	0.910
8	0.610
9	0.230
10	0.230
11	0.450
12	0.500

Press any key to continue...

Load Data

Node	Moment KN-M	Load KN
1	0.00	0.00
2	-108.00	1350.00
3	0.00	0.00
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
6	0.00	0.00
7	0.00	0.00
8	0.00	0.00
9	0.00	0.00
10	81.00	2025.00
11	0.00	0.00
12	0.00	0.00
13	0.00	0.00

Press any key to continue...

Nodal Displacement

DOF	Displacement
6	0.02

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Moment (near) KN-M	Moment (end) KN-M
1	-0.12	-51.62
2	-56.32	226.43
3	-226.33	706.80
4	-706.76	1386.96
5	-1386.98	1781.82
6	-1781.81	1439.12
7	-1439.13	690.78
8	-690.79	-24.56
9	24.50	-337.75
10	418.66	-289.40
11	289.46	-103.97
12	103.97	-0.00

Press any key to continue...

Node	Soil_Modulus KN/M*3	Node Spring KN/M	Spring_Force KN
1	22000.00	11616.00	257.82
2	22000.00	11616.00	245.06
3	22000.00	14520.00	290.40
4	22000.00	26426.40	485.62
5	22000.00	48787.20	746.03
6	22000.00	62145.61	689.25
7	22000.00	57499.20	502.08
8	22000.00	44140.80	350.34
9	22000.00	24393.60	188.77
10	22000.00	13358.40	102.53
11	22000.00	19747.20	150.00
12	22000.00	27588.00	204.21
13	22000.00	29040.00	207.94

Sum applied forces = 3375.00 KN Sum spring forces = 4420.06 KN

Press any key to continue...

Displacements

Node	Rotations(Rads)	Deflections(M)
1	-5.491e-03	2.220e-02
2	-5.496e-03	2.110e-02
3	-5.469e-03	2.000e-02
4	-5.333e-03	1.838e-02
5	-4.714e-03	1.529e-02
6	-3.070e-03	1.109e-02
7	-1.399e-03	8.732e-03
8	-4.588e-04	7.937e-03
9	-2.618e-04	7.739e-03
10	-3.022e-04	7.675e-03
11	-3.811e-04	7.596e-03
12	-4.670e-04	7.402e-03
13	-4.922e-04	7.160e-03

Press any key to continue...

Node	Soil_Pressure (KN/M*2)
1	488.30
2	464.13
3	440.00
4	404.28
5	336.41
6	244.00
7	192.10
8	174.61
9	170.25
10	168.85
11	167.11
12	162.85
13	157.53

Press any key to continue...

5.2. ตัวอย่างการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ MAT FOUNDATION

5.2.1. ระบบ MENU

MAIN MENU

```
=====
Analyst Mat Foundation Program
=====
```

Main Menu

```
F = File
D = Data
S = Solution
R = Result
Q = Quit
```

SELECT =

ESC TO QUIT THIS MENU

FILE MENU

File Menu

```
N = New
C = Continue
S = Save
```

SELECT =

ESC TO QUIT THIS MENU

DATA MENU
 =====
 Analyst Mat Foundation Program
 =====

Data Menu

G = Global variable
 E = Element
 L = Load
 N = Nodal Displacement
 O = Output on screen

SELECT =

ESC TO QUIT THIS MENU

GLOBAL VARIABLE MENU

Global variable Menu

U = Units
 G = G Modulus
 E = Modulus of concrete
 T = Thickness of elements
 W = Unit Weight

SELECT =

Press ESC TO QUIT THIS MENU

INPUT SCREEN+
Input Number of Element : 60

Input Number of X-Element : 5

Input Number of Y-Element : 5

Input Element Data

 =====

	Element	H	V	B	SK1	SK2	Ele-Gen
PREVIOUS ENTRY	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
>CURRENT ENTRY	1	2.00	0.00	2.00	100.00	100.00	

 =====

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOAD SCREEN

Input Load Case Number : 1

Input Load Data

```

=====
Node                               Load
=====
PREVIOUS ENTRY                      0          0.00
>CURRENT ENTRY

```

SETTLEMENT SCREEN

Input Number of Nodal Settlement : 1

Input Nodal Settlement

```

=====
DOF                               Settlement
=====
PREVIOUS ENTRY                      0          0.00
>CURRENT ENTRY                      6

```

RESULT MENU

Result Menu

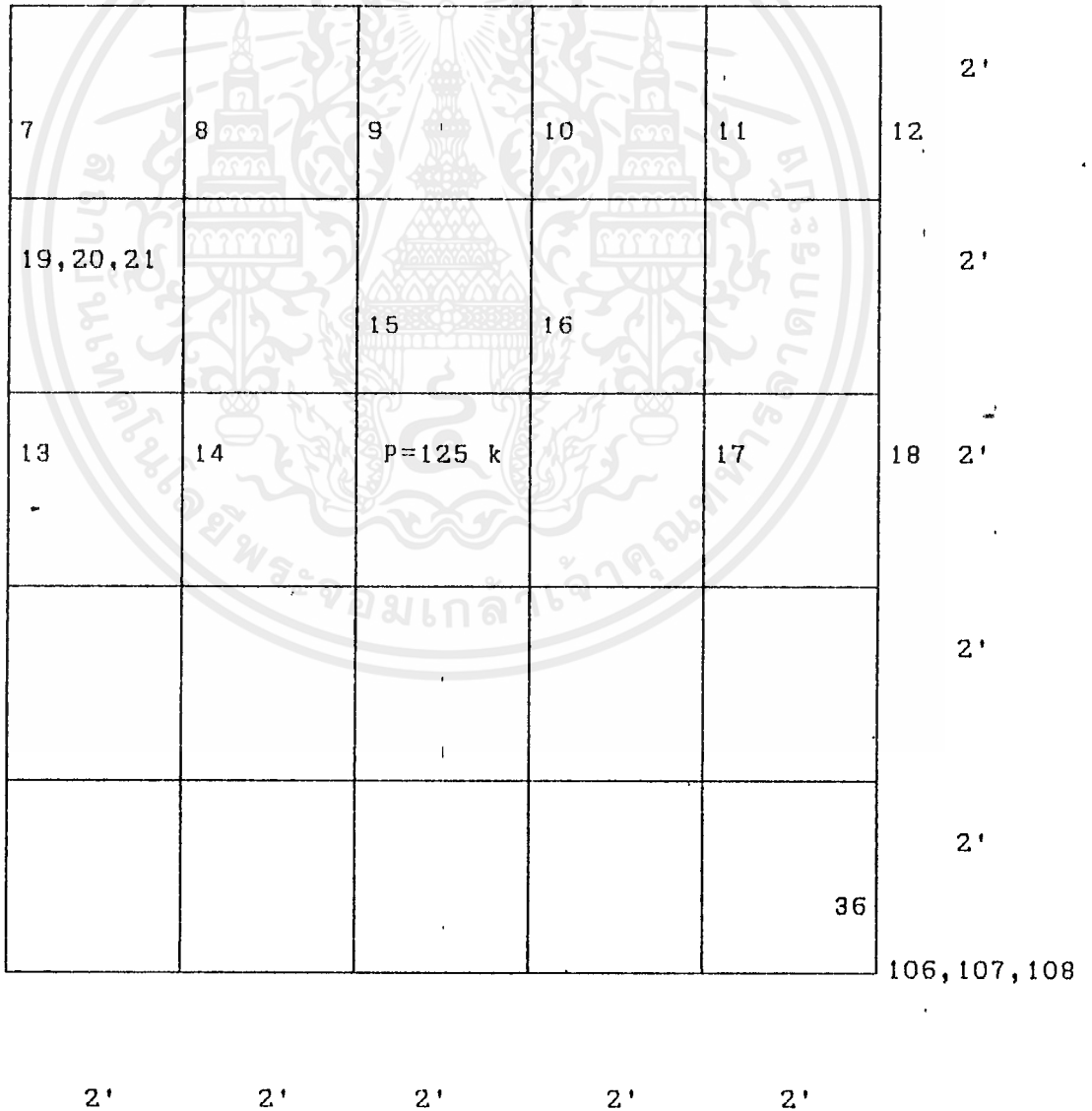
M = Moments & Shear
 S = Spring force
 D = Displacements

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้

5.2.2. ตัวอย่างที่ 1 (MAT FOUNDATION)

$B * B = 10 \quad \text{ft} * 2$
 $E_c = 468,000 \quad \text{ksf}$
 $G' = 203,500 \quad \text{ksf}$
 $ks = 100 \quad \text{kcf}$
 $D_c = 2.0 \quad \text{ft}$

NP = 1, 2, 3 4, 5, 6 3 4 5 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

=====
Global Variables
=====

```

Force Unit (kips)

Length Unit (ft)

G Modulus = 2.0350e+05 kips/ft*2

Modulus of Concrete = 4.6800e+05 kips/ft*2

Thickness of elements= 2.0000 ft

Unit Weight = 0.0000 kips/ft*3

Press any key to continue...

```

=====
Element Data
=====

```

Element	H ft	V ft	B ft	SK1 kips/ft*3	SK2 kips/ft*3
1	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
2	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
3	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
4	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
5	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
6	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
7	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
8	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
9	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
10	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
11	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
12	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
13	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
14	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
15	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
16	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
17	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
18	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
19	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในของนักศึกษาเท่านั้น กรุณาอนุญาตให้ใช้โดยไม่เสียประโยชน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element Data

Element	H ft	V ft	B ft	SK1 kips/ft*3	SK2 kips/ft*3
20	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
21	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
22	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
23	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
24	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
25	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
26	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
27	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
28	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
29	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
30	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
31	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
32	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
33	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
34	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
35	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
36	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
37	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
38	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000

Press any key to continue...

Element Data

Element	H ft	V ft	B ft	SK1 kips/ft*3	SK2 kips/ft*3
39	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
40	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
41	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
42	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
43	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
44	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
45	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
46	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
47	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
48	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
49	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
50	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
51	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
52	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
53	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
54	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
55	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
56	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
57	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element Data

Element	H ft	V ft	B ft	SK1 kips/ft*3	SK2 kips/ft*3
58	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
59	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
60	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000

Press any key to continue...

Load Data

Node	Load (kips)
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	125.00
16	125.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load Data

Node	Load (kips)
21	125.00
22	125.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00
29	0.00
30	0.00
31	0.00
32	0.00
33	0.00
34	0.00
35	0.00
36	0.00

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Bending-Moment kips-ft	Bending-Moment kips-ft	Tor-Moment kips-ft	VL kips	VR kips
1	4.029e+00	-8.938e+00	-4.031e+00	2.45	-2.45
2	1.067e+01	-9.995e+00	-3.188e+00	-0.34	0.34
3	1.082e+01	-1.081e+01	-7.090e-03	-0.00	0.00
4	9.991e+00	-1.065e+01	3.174e+00	0.33	-0.33
5	8.925e+00	-4.020e+00	4.019e+00	-2.45	2.45
6	4.031e+00	-8.944e+00	4.031e+00	2.46	-2.46
7	-8.377e-01	-2.448e+01	1.731e+00	12.66	-12.66
8	-3.184e+00	-1.595e+01	8.278e-01	9.57	-9.57
9	-3.188e+00	-1.595e+01	-8.218e-01	9.57	-9.57
10	-8.483e-01	-2.446e+01	-1.725e+00	12.65	-12.65
11	4.022e+00	-8.933e+00	-4.019e+00	2.46	-2.46
12	-8.455e-01	-2.446e+01	-1.731e+00	12.65	-12.65
13	2.426e+01	-6.952e+01	-1.524e+00	22.63	-22.63
14	6.954e+01	-6.953e+01	-3.060e-03	-0.00	0.00
15	6.951e+01	-2.424e+01	1.518e+00	-22.64	22.64
16	2.446e+01	8.454e-01	1.726e+00	-12.65	12.65
17	1.068e+01	-1.001e+01	3.188e+00	-0.33	0.33
18	2.426e+01	-6.954e+01	1.524e+00	22.64	-22.64
19	1.444e+01	-1.190e+02	8.412e-01	52.30	-52.30
20	1.441e+01	-1.191e+02	-8.349e-01	52.32	-52.32

Press any key to continue...

Element	Bending-Moment kips-ft	Bending-Moment kips-ft	Tor-Moment kips-ft	VL kips	VR kips
21	2.425e+01	-6.955e+01	-1.519e+00	22.65	-22.65
22	1.065e+01	-1.001e+01	-3.175e+00	-0.32	0.32
23	-3.182e+00	-1.594e+01	-8.280e-01	9.56	-9.56
24	1.441e+01	-1.190e+02	-8.413e-01	52.31	-52.31
25	1.182e+02	-1.182e+02	-3.132e-03	0.00	-0.00
26	1.190e+02	-1.442e+01	8.352e-01	-52.31	52.31
27	1.594e+01	3.177e+00	8.222e-01	-9.56	9.56
28	1.084e+01	-1.082e+01	8.451e-03	-0.01	0.01
29	6.955e+01	-6.954e+01	3.439e-03	-0.01	0.01
30	1.182e+02	-1.182e+02	3.333e-03	-0.00	0.00
31	1.182e+02	-1.182e+02	2.663e-03	-0.00	0.00
32	6.956e+01	-6.956e+01	2.569e-03	-0.00	0.00
33	1.083e+01	-1.083e+01	5.477e-03	0.00	-0.00
34	-3.177e+00	-1.594e+01	8.212e-01	9.56	-9.56
35	1.441e+01	-1.190e+02	8.346e-01	52.32	-52.32
36	1.182e+02	-1.182e+02	-3.034e-03	0.02	-0.02
37	1.191e+02	-1.442e+01	-8.404e-01	-52.32	52.32
38	1.595e+01	3.168e+00	-8.270e-01	-9.56	9.56
39	9.996e+00	-1.065e+01	-3.173e+00	0.33	-0.33
40	6.952e+01	-2.425e+01	-1.518e+00	-22.64	22.64

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Bending-Moment kips-ft	Bending-Moment kips-ft	Tor-Moment kips-ft	VL kips	VR kips
41	1.190e+02	-1.442e+01	-8.349e-01	-52.31	52.31
42	1.191e+02	-1.442e+01	8.407e-01	-52.32	52.32
43	6.954e+01	-2.425e+01	1.523e+00	-22.64	22.64
44	1.001e+01	-1.067e+01	3.186e+00	0.33	-0.33
45	-8.357e-01	-2.445e+01	1.725e+00	12.64	-12.64
46	2.425e+01	-6.954e+01	1.518e+00	22.64	-22.64
47	6.956e+01	-6.957e+01	-2.875e-03	0.01	-0.01
48	6.956e+01	-2.426e+01	-1.524e+00	-22.65	22.65
49	2.447e+01	8.403e-01	-1.730e+00	-12.66	12.66
50	8.925e+00	-4.016e+00	-4.018e+00	-2.45	2.45
51	2.446e+01	8.501e-01	-1.725e+00	-12.65	12.65
52	1.594e+01	3.186e+00	-8.217e-01	-9.57	9.57
53	1.594e+01	3.180e+00	8.273e-01	-9.56	9.56
54	2.446e+01	8.406e-01	1.730e+00	-12.65	12.65
55	8.931e+00	-4.032e+00	4.029e+00	-2.45	2.45
56	4.015e+00	-8.930e+00	4.018e+00	2.46	-2.46
57	1.066e+01	-1.001e+01	3.174e+00	-0.32	0.32
58	1.083e+01	-1.085e+01	-6.829e-03	0.01	-0.01
59	1.002e+01	-1.068e+01	-3.187e+00	0.33	-0.33
60	8.945e+00	-4.036e+00	-4.029e+00	-2.45	2.45

Press any key to continue...

Node	Node_Spring kips/ft	Spring_Force kips
1	100.000	4.911
2	200.000	9.871
3	200.000	9.897
4	200.000	9.897
5	200.000	9.870
6	100.000	4.910
7	200.000	9.869
8	400.000	19.968
9	400.000	20.127
10	400.000	20.126
11	400.000	19.966
12	200.000	9.868
13	200.000	9.895
14	400.000	20.124
15	400.000	20.383
16	400.000	20.383
17	400.000	20.123
18	200.000	9.894
19	200.000	9.893
20	400.000	20.120

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Node	Node_Spring kips/ft	Spring_Force kips
21	400.000	20.380
22	400.000	20.380
23	400.000	20.120
24	200.000	9.893
25	200.000	9.864
26	400.000	19.958
27	400.000	20.117
28	400.000	20.117
29	400.000	19.959
30	200.000	9.864
31	100.000	4.906
32	200.000	9.862
33	200.000	9.890
34	200.000	9.890
35	200.000	9.863
36	100.000	4.907

Sum applied forces = 500.00 kips ; Sum spring forces = 500.06 kips
 Press any key to continue...

Displacements

Node	Y-Rotations(Rads)	X-Rotation(Rads)	Deflections(ft)
1	-1.381e-04	1.415e-04	4.911e-02
2	-2.955e-04	9.990e-05	4.935e-02
3	-4.200e-04	3.367e-05	4.949e-02
4	-4.203e-04	-3.566e-05	4.948e-02
5	-2.963e-04	-1.018e-04	4.935e-02
6	-1.394e-04	-1.433e-04	4.910e-02
7	-9.656e-05	2.988e-04	4.935e-02
8	-2.576e-04	2.610e-04	4.992e-02
9	-3.995e-04	1.107e-04	5.032e-02
10	-3.998e-04	-1.121e-04	5.031e-02
11	-2.585e-04	-2.624e-04	4.992e-02
12	-9.790e-05	-3.002e-04	4.934e-02
13	-3.025e-05	4.233e-04	4.947e-02
14	-1.073e-04	4.029e-04	5.031e-02
15	-1.856e-04	1.890e-04	5.096e-02
16	-1.859e-04	-1.898e-04	5.096e-02
17	-1.082e-04	-4.037e-04	5.031e-02
18	-3.165e-05	-4.242e-04	4.947e-02
19	3.916e-05	4.236e-04	4.946e-02
20	1.156e-04	4.032e-04	5.030e-02

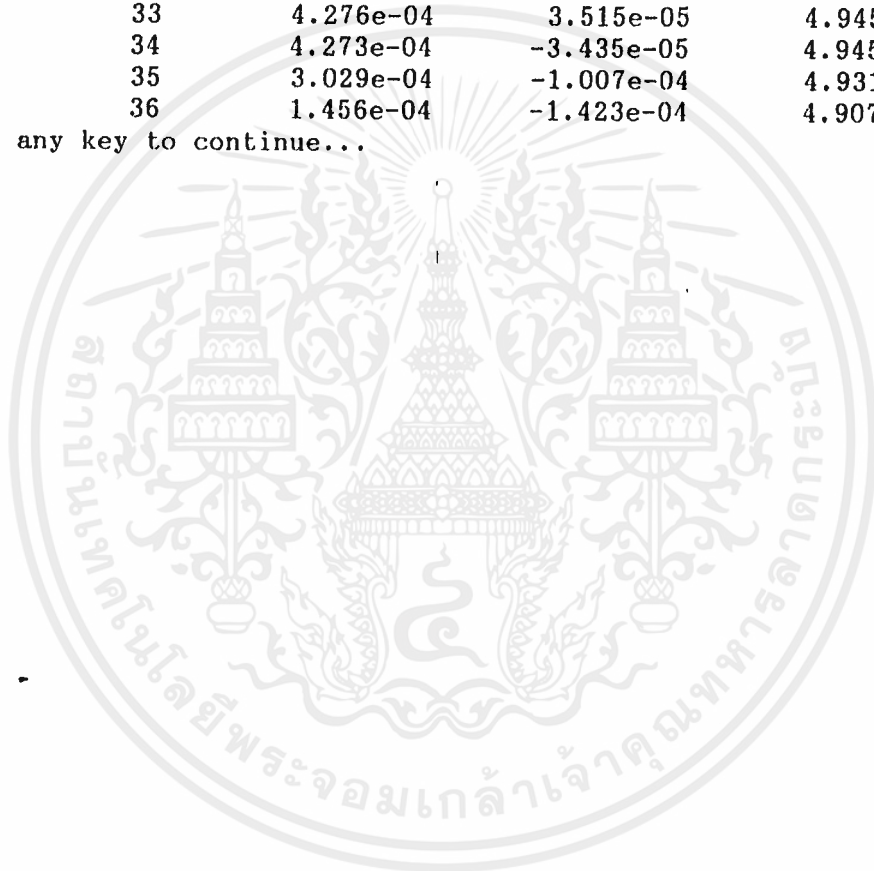
Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Displacements

Node	Y-Rotations(Rads)	X-Rotation(Rads)	Deflections(ft)
21	1.933e-04	1.893e-04	5.095e-02
22	1.930e-04	-1.896e-04	5.095e-02
23	1.148e-04	-4.035e-04	5.030e-02
24	3.780e-05	-4.240e-04	4.946e-02
25	1.053e-04	2.998e-04	4.932e-02
26	2.659e-04	2.619e-04	4.990e-02
27	4.072e-04	1.116e-04	5.029e-02
28	4.069e-04	-1.114e-04	5.029e-02
29	2.651e-04	-2.617e-04	4.990e-02
30	1.041e-04	-2.996e-04	4.932e-02
31	1.468e-04	1.429e-04	4.906e-02
32	3.037e-04	1.014e-04	4.931e-02
33	4.276e-04	3.515e-05	4.945e-02
34	4.273e-04	-3.435e-05	4.945e-02
35	3.029e-04	-1.007e-04	4.931e-02
36	1.456e-04	-1.423e-04	4.907e-02

Press any key to continue...



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3. ตัวอย่างที่ 2 (MAT FOUNDATION)

$$B * B = 10 \quad \text{ft} * 2$$

$$E_c = 468,000 \quad \text{ksf}$$

$$G' = 203,500 \quad \text{ksf}$$

$$k_s = 100 \quad \text{kcf}$$

$$D_c = 2.0 \quad \text{ft}$$

FIXED ROTATIONS AT NODE 15,16,21,22

NP = 1,2,3

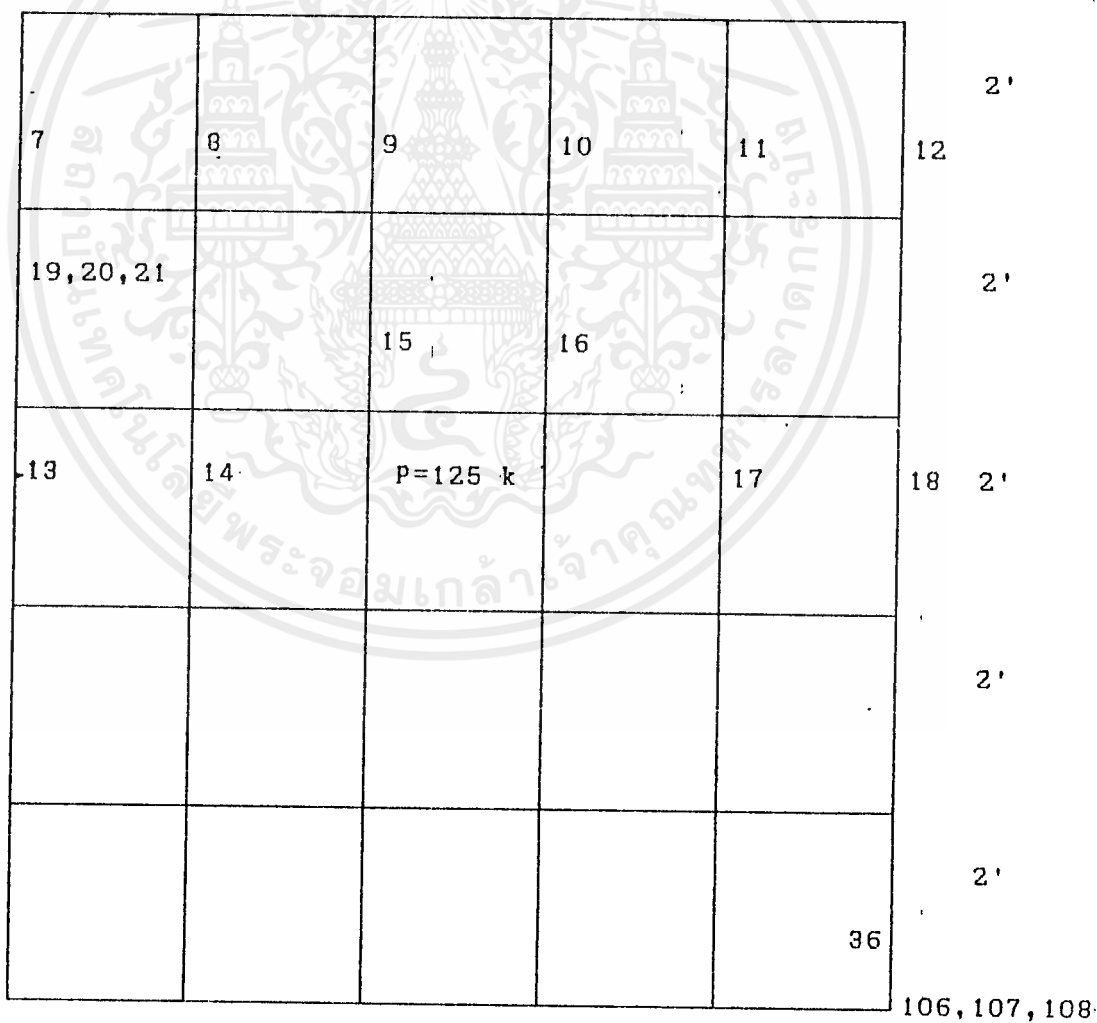
4,5,6

3

4

5

6



2'

2'

2'

2'

2'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

=====
Global Variables
=====

```

Force Unit (kips)

Length Unit (ft)

G Modulus = 2.0350e+05 kips/ft*2

Modulus of Concrete = 4.6800e+05 kips/ft*2

Thickness of elements= 2.0000 ft

Unit Weight = 0.0000 kips/ft*3

Press any key to continue...

```

=====
Element Data
=====

```

Element	H ft	V ft	B ft	SK1 kips/ft*3	SK2 kips/ft*3
1	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
2	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
3	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
4	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
5	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
6	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
7	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
8	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
9	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
10	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
11	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
12	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
13	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
14	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
15	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
16	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
17	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
18	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
19	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element Data

Element	H ft	V ft	B ft	SK1 kips/ft*3	SK2 kips/ft*3
20	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
21	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
22	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
23	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
24	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
25	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
26	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
27	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
28	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
29	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
30	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
31	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
32	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
33	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
34	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
35	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
36	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
37	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
38	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000

Press any key to continue...

Element Data

Element	H ft	V ft	B ft	SK1 kips/ft*3	SK2 kips/ft*3
39	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
40	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
41	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
42	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
43	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
44	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
45	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
46	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
47	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
48	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
49	2.000	0.000	2.000	100.000	100.000
50	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
51	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
52	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
53	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
54	0.000	2.000	2.000	100.000	100.000
55	0.000	2.000	1.000	100.000	100.000
56	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
57	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element Data

Element	H ft	V ft	B ft	SK1 kips/ft*3	SK2 kips/ft*3
58	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
59	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000
60	2.000	0.000	1.000	100.000	100.000

Press any key to continue...

Load Data

Node	Load (kips)
1	0.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	125.00
16	125.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00

Press any key to continue...

Load Data

Node	Load (kips)
21	125.00
22	125.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00
29	0.00
30	0.00
31	0.00
32	0.00
33	0.00
34	0.00
35	0.00
36	0.00

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Bending-Moment kips-ft	Bending-Moment kips-ft	Tor-Moment kips-ft	VL kips	VR kips
1	1.881e+00	-6.811e+00	-1.880e+00	2.46	-2.46
2	7.606e+00	-1.516e+01	-1.632e+00	3.78	-3.78
3	1.554e+01	-1.553e+01	-2.779e-03	-0.00	0.00
4	1.516e+01	-7.606e+00	1.629e+00	-3.78	3.78
5	6.806e+00	-1.879e+00	1.878e+00	-2.46	2.46
6	1.883e+00	-6.801e+00	1.880e+00	2.46	-2.46
7	-2.467e-01	-1.693e+01	8.009e-01	8.59	-8.59
8	-1.624e+00	-2.582e+01	3.714e-01	13.72	-13.72
9	-1.628e+00	-2.581e+01	-3.692e-01	13.72	-13.72
10	-2.585e-01	-1.693e+01	-7.998e-01	8.59	-8.59
11	1.879e+00	-6.803e+00	-1.879e+00	2.46	-2.46
12	-2.506e-01	-1.691e+01	-8.004e-01	8.58	-8.58
13	1.668e+01	-5.381e+01	-5.552e-01	18.57	-18.57
14	5.255e+01	-5.259e+01	-1.330e-03	0.02	-0.02
15	5.385e+01	-1.668e+01	5.538e-01	-18.59	18.59
16	1.694e+01	2.492e-01	8.000e-01	-8.59	8.59
17	7.606e+00	-1.515e+01	1.630e+00	3.77	-3.77
18	1.668e+01	-5.382e+01	5.546e-01	18.57	-18.57
19	2.527e+01	-1.300e+02	-9.038e-01	52.37	-52.37
20	2.524e+01	-1.301e+02	9.066e-01	52.43	-52.43

Press any key to continue...

Element	Bending-Moment kips-ft	Bending-Moment kips-ft	Tor-Moment kips-ft	VL kips	VR kips
21	1.668e+01	-5.387e+01	-5.540e-01	18.59	-18.59
22	7.602e+00	-1.516e+01	-1.627e+00	3.78	-3.78
23	-1.628e+00	-2.578e+01	-3.703e-01	13.71	-13.71
24	2.523e+01	-1.300e+02	9.044e-01	52.36	-52.36
25	4.745e-02	4.745e-02	0.000e+00	-0.05	0.05
26	1.301e+02	-2.525e+01	-9.063e-01	-52.43	52.43
27	2.581e+01	1.638e+00	3.690e-01	-13.72	13.72
28	1.553e+01	-1.552e+01	5.651e-04	-0.01	0.01
29	5.253e+01	-5.254e+01	3.431e-04	0.00	-0.00
30	-8.336e-03	-8.336e-03	0.000e+00	0.01	-0.01
31	-2.383e-02	-2.383e-02	0.000e+00	0.02	-0.02
32	5.259e+01	-5.254e+01	1.328e-03	-0.03	0.03
33	1.553e+01	-1.553e+01	2.987e-03	0.00	-0.00
34	-1.625e+00	-2.577e+01	3.699e-01	13.70	-13.70
35	2.522e+01	-1.300e+02	-9.049e-01	52.38	-52.38
36	3.086e-02	3.086e-02	0.000e+00	-0.03	0.03
37	1.300e+02	-2.525e+01	9.039e-01	-52.39	52.39
38	2.579e+01	1.629e+00	-3.714e-01	-13.71	13.71
39	1.515e+01	-7.601e+00	-1.629e+00	-3.78	3.78
40	5.382e+01	-1.666e+01	-5.543e-01	-18.58	18.58

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Bending-Moment kips-ft	Bending-Moment kips-ft	Tor-Moment kips-ft	VL kips	VR kips
41	1.300e+02	-2.522e+01	9.047e-01	-52.40	52.40
42	1.300e+02	-2.522e+01	-9.046e-01	-52.38	52.38
43	5.382e+01	-1.667e+01	5.554e-01	-18.57	18.57
44	1.516e+01	-7.609e+00	1.632e+00	-3.78	3.78
45	-2.597e-01	-1.691e+01	7.999e-01	8.59	-8.59
46	1.667e+01	-5.380e+01	5.545e-01	18.57	-18.57
47	5.253e+01	-5.254e+01	-3.389e-04	0.00	-0.00
48	5.382e+01	-1.668e+01	-5.550e-01	-18.57	18.57
49	1.692e+01	2.554e-01	-8.009e-01	-8.59	8.59
50	6.799e+00	-1.878e+00	-1.878e+00	-2.46	2.46
51	1.691e+01	2.501e-01	-7.999e-01	-8.58	8.58
52	2.576e+01	1.633e+00	-3.700e-01	-13.70	13.70
53	2.578e+01	1.627e+00	3.703e-01	-13.70	13.70
54	1.692e+01	2.452e-01	8.007e-01	-8.58	8.58
55	6.808e+00	-1.882e+00	1.880e+00	-2.46	2.46
56	1.875e+00	-6.803e+00	1.878e+00	2.46	-2.46
57	7.606e+00	-1.515e+01	1.629e+00	3.77	-3.77
58	1.551e+01	-1.552e+01	-1.723e-04	0.00	-0.00
59	1.515e+01	-7.600e+00	-1.630e+00	-3.77	3.77
60	6.802e+00	-1.882e+00	-1.880e+00	-2.46	2.46

Press any key to continue...

Node	Node_Spring kips/ft	Spring_Force kips
1	100.000	4.925
2	200.000	9.906
3	200.000	9.942
4	200.000	9.942
5	200.000	9.905
6	100.000	4.925
7	200.000	9.906
8	400.000	19.984
9	400.000	20.104
10	400.000	20.104
11	400.000	19.983
12	200.000	9.905
13	200.000	9.942
14	400.000	20.104
15	400.000	20.226
16	400.000	20.226
17	400.000	20.104
18	200.000	9.942
19	200.000	9.942
20	400.000	20.104

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Node	Node_Spring kips/ft	Spring_Force kips
21	400.000	20.226
22	400.000	20.226
23	400.000	20.104
24	200.000	9.942
25	200.000	9.906
26	400.000	19.984
27	400.000	20.104
28	400.000	20.104
29	400.000	19.984
30	200.000	9.906
31	100.000	4.925
32	200.000	9.906
33	200.000	9.942
34	200.000	9.942
35	200.000	9.906
36	100.000	4.925
Sum applied forces = 500.00 kips ;		Sum spring forces = 500.15 kips

Press any key to continue...

Displacements

Node	Y-Rotations(Rads)	X-Rotation(Rads)	Deflections(ft)
1	-1.505e-04	1.504e-04	4.925e-02
2	-2.239e-04	1.225e-04	4.953e-02
3	-2.876e-04	4.955e-05	4.971e-02
4	-2.877e-04	-5.001e-05	4.971e-02
5	-2.241e-04	-1.230e-04	4.953e-02
6	-1.508e-04	-1.508e-04	4.925e-02
7	-1.227e-04	2.238e-04	4.953e-02
8	-1.972e-04	1.971e-04	4.996e-02
9	-2.488e-04	8.411e-05	5.026e-02
10	-2.490e-04	-8.438e-05	5.026e-02
11	-1.974e-04	-1.974e-04	4.996e-02
12	-1.230e-04	-2.242e-04	4.953e-02
13	-4.971e-05	2.874e-04	4.971e-02
14	-8.417e-05	2.487e-04	5.026e-02
15	0.000e+00	0.000e+00	5.056e-02
16	0.000e+00	0.000e+00	5.056e-02
17	-8.435e-05	-2.490e-04	5.026e-02
18	-5.001e-05	-2.877e-04	4.971e-02
19	4.979e-05	2.874e-04	4.971e-02
20	8.422e-05	2.487e-04	5.026e-02

Press any key to continue...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Displacements

Node	Y-Rotations(Rads)	X-Rotation(Rads)	Deflections(ft)
21	0.000e+00	0.000e+00	5.056e-02
22	0.000e+00	0.000e+00	5.056e-02
23	8.413e-05	-2.489e-04	5.026e-02
24	4.956e-05	-2.876e-04	4.971e-02
25	1.227e-04	2.238e-04	4.953e-02
26	1.972e-04	1.971e-04	4.996e-02
27	2.488e-04	8.420e-05	5.026e-02
28	2.487e-04	-8.419e-05	5.026e-02
29	1.971e-04	-1.972e-04	4.996e-02
30	1.225e-04	-2.239e-04	4.953e-02
31	1.505e-04	1.505e-04	4.925e-02
32	2.239e-04	1.227e-04	4.953e-02
33	2.874e-04	4.976e-05	4.971e-02
34	2.874e-04	-4.972e-05	4.971e-02
35	2.238e-04	-1.226e-04	4.953e-02
36	1.504e-04	-1.505e-04	4.925e-02

Press any key to continue...

Nodal Displacement

Dof	Displacement
43	0.00
44	0.00
46	0.00
47	0.00
61	0.00
62	0.00
64	0.00
65	0.00

Press any key to continue...

บรรณานุกรม

JOSEPH E. BOWLES. FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN, MCGRAW-HILL, 4th EDITION, 1988.

มาแะ อภิมัชเมมเตรี. วิศวกรรมปฐพีและฐานราก, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2533

ดร.ชัย มุกตพันธ์ และ ดร.กาชุตี นากาซาวะ. ปฐพีกลศาสตร์และวิศวกรรมฐานราก, บริษัท ดวงกมลสมัย, 2531

วิวัฒนา ธรรมมงคล และ วิฑิต ช่อวิเชียร. ปฐพีกลศาสตร์, โรงพิมพ์ ดร.วิฑิต ช่อวิเชียร, 2532

มณเฑียร กังคีติเทียม. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน, 2533