ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate ด้วยโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์

โดย

ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทก
วก 15
002095

เลขที่ คส 02/2526

พฤษภาคม 2526

พ.ศ. 2528

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate ด้วยโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์

โดย

ดร. ทักษิณ เทพชาตรี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

คำนำ ..... ก

กิตติกรรมประกาศ ..... ข

บทคัดย่อ ..... ค

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

บทที่ 2 วิธีการวิเคราะห์ 3

2.1 Equivalent Frame 3

2.2 Slab Stiffness 5

2.3 Column Stiffness 6

2.4 Equivalent Column Stiffness 6

2.5 Distributed Factor 9

2.6 Carry Over Factor 9

2.7 Two-cycle Moment Distribution 9

บทที่ 3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 12

บทที่ 4 ตัวอย่างการวิเคราะห์ 14

บทที่ 5 บทสรุป 25

บรรณานุกรม 26

ภาคผนวก ก รายการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ เศฬ
ลศ 15
เลขทะเบียน 002095
วัน,เดือน,ปี 28 มค. 28

คำนำ

เนื้อหาของรายงานการวิจัยนี้ ประกอบด้วยรายละเอียดต่าง ๆ และขั้นตอนในการคำนวณหาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate โดยวิธี Equivalent Frame ตลอดจนการเขียนโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ในภาษาเบสิคเพื่อใช้ทำการคำนวณหาค่าโมเมนต์ดังกล่าวแทนที่จะใช้วิธีการคำนวณด้วยมือเช่นในอดีต ส่วนเนื้อหาในท้ายเล่ม จะประกอบด้วยตัวอย่างการคำนวณ การป้อนข้อมูลและรายการโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อผู้อ่านสามารถนำไปใช้งานได้ทันที

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เนื้อหาของงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับวิศวกรโครงสร้างและผู้สนใจทั่ว ๆ ไป

รองศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนค่าวัสดุในการจัดทำรายงานการวิจัย เล่มนี้ขึ้นจนเป็นผลสำเร็จ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่นำเอาเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate วิธีการวิเคราะห์ได้อาศัยหลักการของวิธี Equivalent Frame ผนวกเข้ากับวิธีการคำนวณด้วยวิธี Two-cycle Moment Distribution โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นโดยวิธีการดังกล่าว จะช่วยให้วิศวกรโครงสร้างสามารถคำนวณหาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate ได้อย่างรวดเร็ว แทนที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยมือ เป็นการประหยัดเวลาและสมองได้เป็นอย่างมาก โปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นจากงานวิจัยนี้ สามารถใช้ได้กับระบบพื้นที่มีปลายยื่นอิสระออกไปจากตัวอาคาร (cantilever) ทั้งสองข้าง นอกจากนี้น้ำหนักบรรทุกบนพื้นสามารถเป็นได้ทั้งชนิดที่กระทำสม่ำเสมอและกระทำเป็นจุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความนำ

พื้นระบบ Flat Plate (ระบบพื้นที่ไม่มีคานและ drop panel) เป็นระบบพื้นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งชนิดที่เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดาและพื้นที่เสริมด้วย prestressing steel หรือที่เรียกว่า post-tensioned slab ทั้งนี้เพราะพื้นระบบนี้มีความสวยงามและการก่อสร้างสามารถทำได้รวดเร็วกว่า นอกจากนี้ความสูงแต่ละชั้นของอาคารที่ใช้พื้นระบบ Flat Plate จะเตี้ยกว่าระบบพื้น-คานทั่ว ๆ ไป ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนชั้นได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มพื้นที่การใช้งาน อันมีผลโดยตรงต่อด้านการลงทุนและผลประโยชน์ตอบแทน จะเห็นได้ว่าการก่อสร้างอาคารสูง ๆ ในปัจจุบัน ระบบพื้นจะเป็นแบบ Flat Plate แทบทั้งหมด ดังนั้นวิศวกรโครงสร้างจึงควรที่จะรู้ถึงวิธีการวิเคราะห์พื้นระบบนี้เพื่อจะได้ก้าวไปให้ทันกับเทคโนโลยีใหม่ ๆ

ในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ที่ปลายพื้นของพื้นระบบ Flat Plate ที่จำเป็นในการใช้ป้อนข้อมูลและเขียนเป็นคอมพิวเตอร์โปรแกรมใช้กับเครื่องพ็อกเก็ตคอมพิวเตอร์ (pocket computer) หรือเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้ รายละเอียดในส่วนที่เหลือผู้อ่านสามารถหาหาค้นคว้าได้จากหนังสือคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป ประโยชน์ของการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ก็เพื่อเป็นการลดเวลาในการคำนวณ ประหยัดสมอง ตลอดจนช่วยให้วิศวกรมีโอกาสวาง pattern ของน้ำหนักบรรทุกในลักษณะต่าง ๆ โดยไม่เกิดความเบื่อหน่ายอันจะช่วยให้การคำนวณออกแบบสามารถทำได้อย่างประหยัดและปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้แก่การศึกษาเพื่อหาวิธีการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate อย่างประมาณ แต่เป็นขั้นตอนและสะดวกต่อการเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate ทั่ว ๆ ไป

โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

ก. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับพฤติกรรมของพื้นระบบ Flat Plate ภายใต้น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง

ข. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate โดยวิธี Equivalent Frame

ค. ศึกษาวิธีการคำนวณค่าโมเมนต์ที่ปลายโดยวิธี Two-cycle Moment Distribution

ง. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และ

จ. ตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

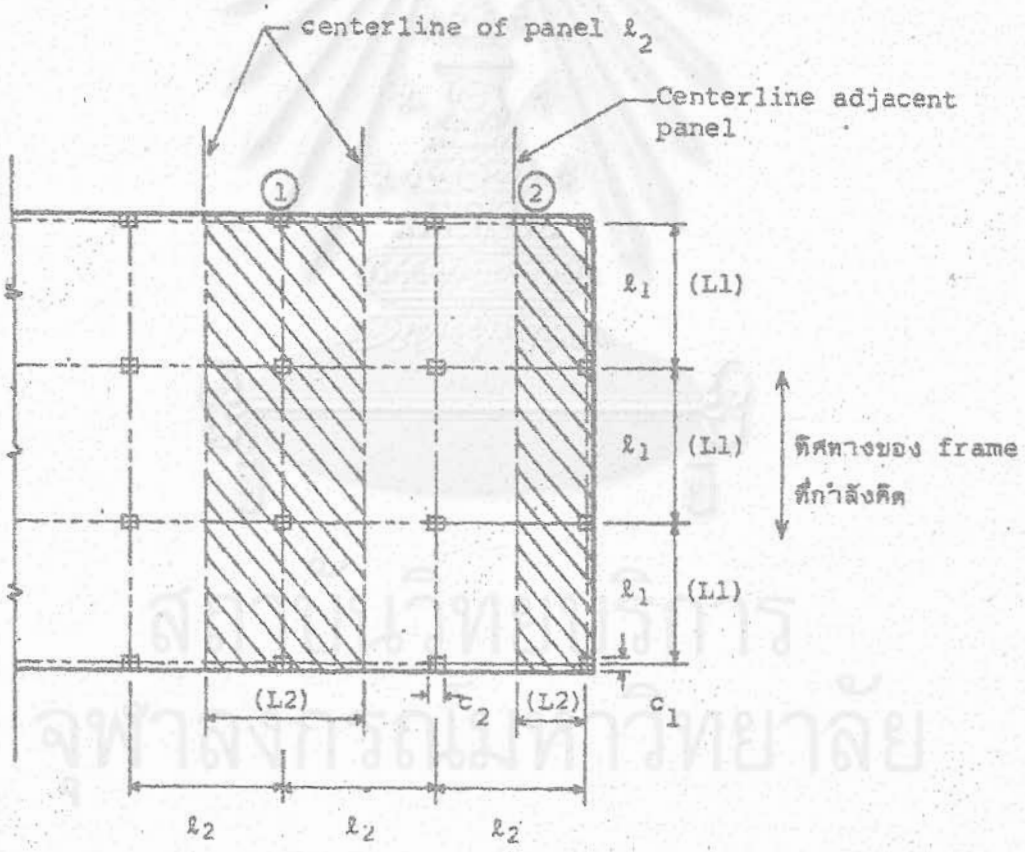
บทที่ 2

วิธีการวิเคราะห์

2.1 Equivalent Frame

การวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงข้อแข็งที่ใช้พื้นระบบ Flat Plate อาจทำได้สองวิธี ดังนี้

1. วิธี Direct Design และ
2. วิธี Equivalent Frame

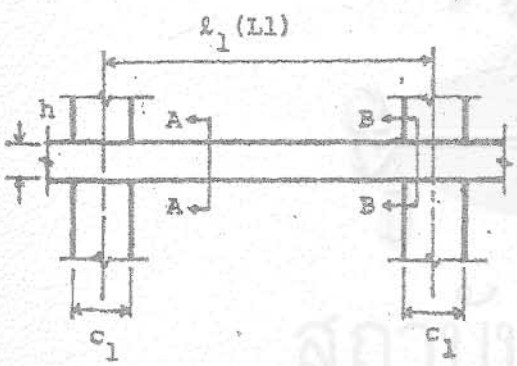


1. interior equivalent frame L1 = ความยาวช่วงเสา
2. exterior equivalent frame L2 = ความกว้างของ frame

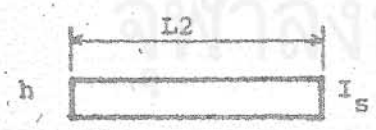
รูปที่ 2.1 คำนิยามของ Equivalent Frame

หลังจากทำการเปรียบเทียบข้อได้เปรียบ เสียเปรียบของวิธีทั้งสองแล้วพบว่า วิธี Equivalent Frame เป็นวิธีที่สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางกว่า ไม่ต้องมีขีดจำกัด เหมือนกับของวิธี Direct Design แต่มีข้อเสียเปรียบคือ การคำนวณยุ่งยากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว ความยุ่งยากต่าง ๆ ก็จะหมดไป เพียงแต่ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของพื้น เสาและน้ำหนักบรรทุก เครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะคำนวณค่าโมเมนต์ที่จุดต่าง ๆ ให้

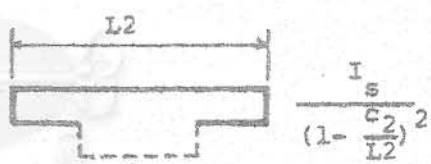
ในวิธี Equivalent Frame โครงสร้างจริง 3 มิติจะถูกแบ่งออกเป็นโครงข้อแข็ง 2 มิติทั้งทางยาวและทางขวาง เรียกโครงข้อแข็งแต่ละอันนี้ว่า equivalent frame ความกว้างของ frame มีค่าเท่ากับระยะกึ่งกลางระหว่างศูนย์กลางเสา ดูรูปที่ 2.1 บริเวณแรเงาในรูปที่ 2.1 แสดง frame ตัวในและ frame ตัวนอก ตามลักษณะทางด้านขวาง ส่วน frame ตัวในและตัวนอกทางด้านยาวก็สามารถหาได้ในลักษณะเดียวกัน



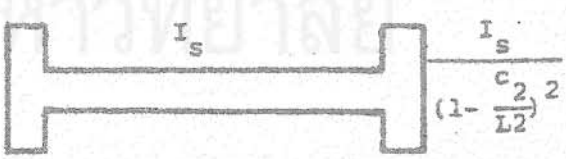
ก. Flat Plate



ข. หน้าตัด A - A



ค. หน้าตัด B - B



ง. Equivalent slab stiffness

รูปที่ 2.2 หน้าตัดของพื้นเพื่อใช้คำนวณหา stiffness

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นส่วนของ Equivalent Frame ประกอบด้วยส่วนที่เป็นพื้น (แนวนอน) กับส่วนที่เป็นเสา (แนวตั้ง) ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์มีดังนี้

1. คำนวณหาค่า flexural stiffness ของพื้นและ equivalent column
2. คำนวณหาค่า distributed factor
3. วาง pattern ของน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้เกิดค่าโมเมนต์สูงสุดและต่ำสุด
4. คำนวณหาค่า fixed end moment และ
5. คำนวณหาค่า moment ที่จุดต่าง ๆ โดยวิธี Moment Distribution

2.2 Slab Stiffness

รูปที่ 2.2 แสดงรูปตั้งและหน้าตัดของพื้น ที่หน้าตัด A-A (รูปที่ 2.2 ข) ค่า I_s (โมเมนต์อินเนเชีย) สามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากขนาดที่กำหนดให้

$$I_s = \frac{1}{12}(L2)(h)^3 \qquad (2.1)$$

โดยที่ L2 = ความกว้างของ frame

h = ความหนาของพื้น

รูปที่ 2.2 ค แสดงหน้าตัดของพื้นบริเวณที่อยู่ในเสา (หน้าตัด B-B) ในกรณีนี้ค่าโมเมนต์อินเนเชียมีค่าใกล้เคียงกับค่า I ดังนี้

$$I = \frac{I_s}{(1-\frac{c_2}{L2})^2} \qquad (2.2)$$

โดยที่ c_2 = ความลึกของหน้าเสา (รูปที่ 2.1)

รูปที่ 2.2 ง แสดงส่วนของพื้นหรือที่เรียกว่า equivalent slab ที่ต้องหาค่า stiffness ซึ่งอาจต้องอาศัยวิธี Column Analogy อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการลดความยุ่งยากในการคำนวณหาค่า equivalent slab stiffness นี้ Rice[4] ได้เสนอให้ใช้

$$K_s = \frac{4I_s E_s}{(L1 - \frac{c_1}{2})} \qquad (2.3)$$

โดยที่ K_s = equivalent slab stiffness

E_s = โมดูลัสยืดหยุ่นของพื้น

$L1$ = ความยาวระหว่างศูนย์กลางเสา (รูปที่ 2.1)

c_1 = ความกว้างของหน้าเสา (รูปที่ 2.1)

สมการ 2.3 จะให้ค่า slab stiffness ที่ใกล้เคียงกับค่าจริงดังรูปที่ 2.2 ง ดังนั้นผู้เขียนจะใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณหาค่า slab stiffness

2.3 Column Stiffness

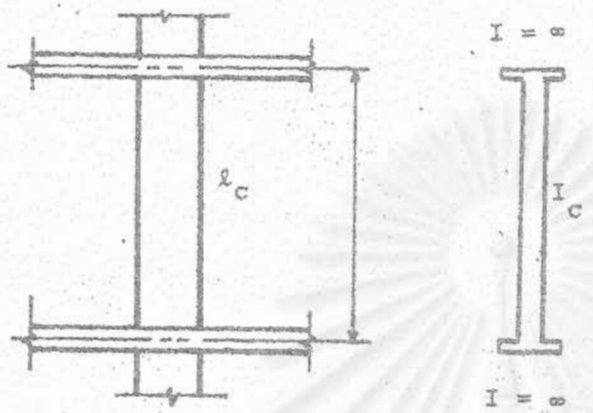
รูปที่ 2.3 แสดงรูปตั้งและหน้าตัดของเสา ค่าโมเมนต์อินเนเชียของเสาในช่วงระหว่างพื้นสามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากหน้าตัดจริงของเสา ดังนั้นจะได้

$$I_c = \frac{1}{12} c_2 c_1^3 \qquad (2.4)$$

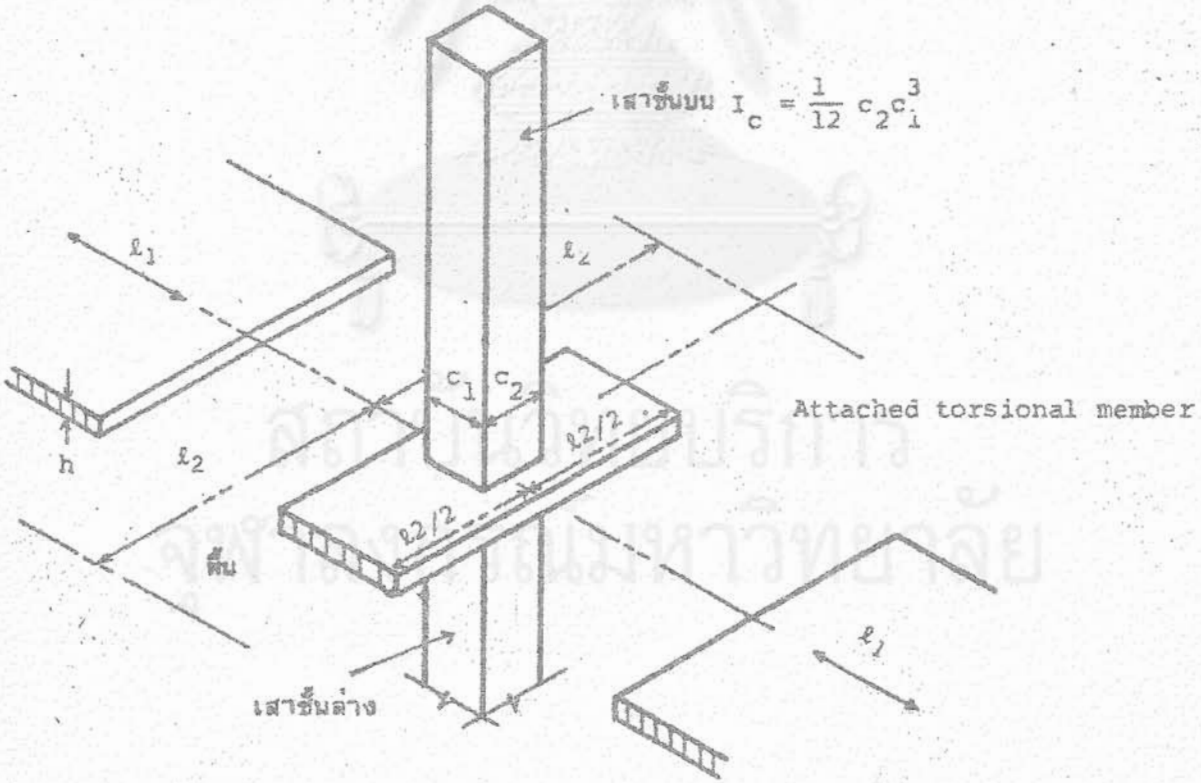
ส่วนโมเมนต์อินเนเชียในส่วนที่อยู่ในพื้นให้ถือว่ามีค่าเท่ากับ ∞ จากนั้นใช้วิธี Column Analogy คำนวณหาค่า Column Stiffness จริง (รูปที่ 2.3) เช่นเดียวกับในกรณีของพื้น Rice ได้เสนอให้ใช้

$$K_c = \frac{4E_c I_c}{L_c - 2h} \qquad (2.5)$$

โดยที่ K_c = flexural stiffness ของเสา



รูปที่ 2.3 หน้าตัดเสาเพื่อใช้คำนวณหา stiffness



รูปที่ 2.4 Equivalent column เพื่อใช้หาค่า Stiffness

E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นของเสา

L_c = ความสูงของเสาวัดจากกึ่งกลางพื้น (รูปที่ 2.3)

2.4 Equivalent Column Stiffness

รูปที่ 2.4 แสดงส่วนของเสาและพื้นที่อยู่ร่วมกันเรียกว่า equivalent column ซึ่งประกอบด้วยส่วนของเสาที่อยู่ระหว่างบนและล่างกับส่วนของพื้นที่ติดกับเสาและยื่นออกไปจากเสาทั้งสองข้าง เรียกส่วนของพื้นนี้ว่า attached torsional member ค่า stiffness ที่แท้จริงจะต้องคำนวณจากรูปที่ 2.4 นี้ ACI ได้กำหนดให้

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_t} \qquad (2.6)$$

K_{ec} = equivalent column stiffness

K_t = torsional stiffness attached member

$$K_t = \frac{9E_s C}{L2\left|1-\left(\frac{c_2}{L2}\right)\right|^3} \qquad (2.7)$$

โดยที่ $$C = \Sigma\left|1-0.63\left(\frac{x}{y}\right)\right|\frac{x^3 y}{3} \qquad (2.8)$$

และ x = ความหนาของพื้น = h

y = ความลึกของหน้าเสา = c_2 (รูปที่ 2.1)

แทนค่าจากสมการ 2.5 และ 2.7 ลงในสมการ 2.6 จะได้ equivalent column stiffness ตามต้องการ

2.6 Distributed Factor

จากสมการ 2.3 ได้ค่า slab stiffness และจากสมการ 2.6 ได้ค่า equivalent column stiffness ซึ่งเพียงพอในการคำนวณหาค่า distributed factor เพื่อใช้ในการกระจายค่า unbalanced moment ที่เกิดขึ้นที่แต่ละ joint ค่า distributed factor

$$D.F._s(ext.) = \frac{K_s}{(K_s+\Sigma K_{ec})} \qquad (2.9)$$

$$D.F._x(int.) = \frac{K_s}{(\Sigma K_s+\Sigma K_{ec})} \qquad (2.10)$$

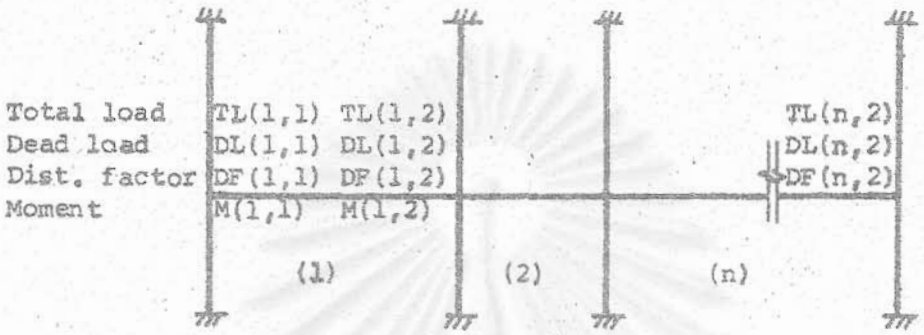
2.8 Carry Over Factor

คือแฟคเตอร์ที่ใช้ในการส่งถ่ายโมเมนต์จากปลายข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่ง สามารถคำนวณหาได้อย่างละเอียดและถูกต้องโดยวิธี Column Analogy อย่างไรก็ตามสำหรับงานด้านการออกแบบพื้นระบบ Flat Plate การใช้ค่า carry over factor ประมาณมีค่าเท่ากับ 0.5 จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่าประมาณนี้ในการคำนวณหาค่าโมเมนต์ เพื่อหลีกเลี่ยงการคำนวณที่ซับซ้อนและเสียเวลา อนึ่งค่า carry over factor เท่ากับ 0.5 นี้เป็นค่าที่ใช้ในโครงสร้างที่มีค่าโมเมนต์อินเนเชียคงที่ตลอดความยาวนั่นเอง

2.7 Two-cycle Moment Distribution

หลังจากคำนวณค่า fixed end moment ที่แต่ละ joint ได้แล้ว ก็พร้อมที่จะกระจาย unbalanced moment ที่เกิดขึ้นโดยวิธี moment distribution ในที่นี้จะใช้วิธีของ PCA หรือที่รู้จักกันในชื่อว่า Two-cycle moment distribution อันที่จริงวิธีนี้ก็เป็นวิธีของ moment distribution ที่เสนอโดย Prof. Hardy Cross แต่ได้รับการเพิ่มเติมเพื่อลดจำนวน cycle ให้เหลือเพียง 2 cycles เท่านั้น แต่ให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจและเพียงพอสำหรับการออกแบบ ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ สามารถคำนวณหาค่าโมเมนต์สูงสุดที่ joint ต่าง ๆ ได้ โดยจะทำการสลับตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกจรในแต่ละ span ให้ด้วย ดังนั้นในวิธี Two-cycle moment distribution นี้นอกจากจะประหยัดเวลาเนื่องจากลดจำนวน

cycle ที่ต้องใช้ในการกระจาย unbalanced moment แล้ว ยังเป็นการประหยัดเวลาใน การจัด pattern ของน้ำหนักบรรทุกด้วย



รูปที่ 2.5 Equivalent Frame n ช่วงพื้น

พิจารณารูปที่ 2.5 ค่าโมเมนต์ที่ปลายพื้นซึ่งคำนวณจากวิธี Two-cycle moment distribution สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ที่พื้นช่วง $1<i<n-1$ (n = จำนวนช่วงพื้นทั้งหมด)

$$A_i = TL(i,2)+\{TL(i,1)-DL(i-1,2)\}DF(i,1)\div 2 \qquad (2.11)$$

$$B_i = TL(i+1,1)+\{TL(i+1,2)-DL(i+2,1)\}DF(i+1,2)\div 2 \qquad (2.12)$$

จะได้

$$M(i,2) = A-(A-B)*DF(i,2) \qquad (2.13)$$

$$M(i+1,1) = B+(A-B)*DF(i+1,1) \qquad (2.14)$$

ดังนั้นค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับภายในทั้งหมดสามารถคำนวณหาได้จากสมการ 2.11 ถึง 2.14 สำหรับค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดแรก M(1,1) สามารถคำนวณหาได้โดยกำหนด ให้ $i = 0$ และ $A_o = 0$ จากสมการ 2.12 ได้

$$B_o = TL(1,1)+\{TL(1,2)-DL(2,1)\}DF(1,2)\div 2 \qquad (2.15)$$

แทนค่า A_o และ B_o ในสมการ 2.14 ได้

$$M(1,1) = \{1-DF(1,1)\}B_o \qquad (2.16)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับปลายสุด M(n,1) สามารถคำนวณหาได้โดยกำหนดให้ i = n $B_n = 0$

$$A_n = TL(n,2)+\{TL(n-1)-DL(n-1,2)\}DF(n,1)\div 2 \qquad (2.17)$$

แทนค่า A_n และ B_n ในสมการ 2.13 ได้

$$M(n,2) = \{1-DF(n,2)\}A_n$$

จากสมการ 2.16 และ 2.18 ค่าโมเมนต์ที่จุดปลายสุดทั้งสองข้างก็สามารถคำนวณหาได้ตามต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

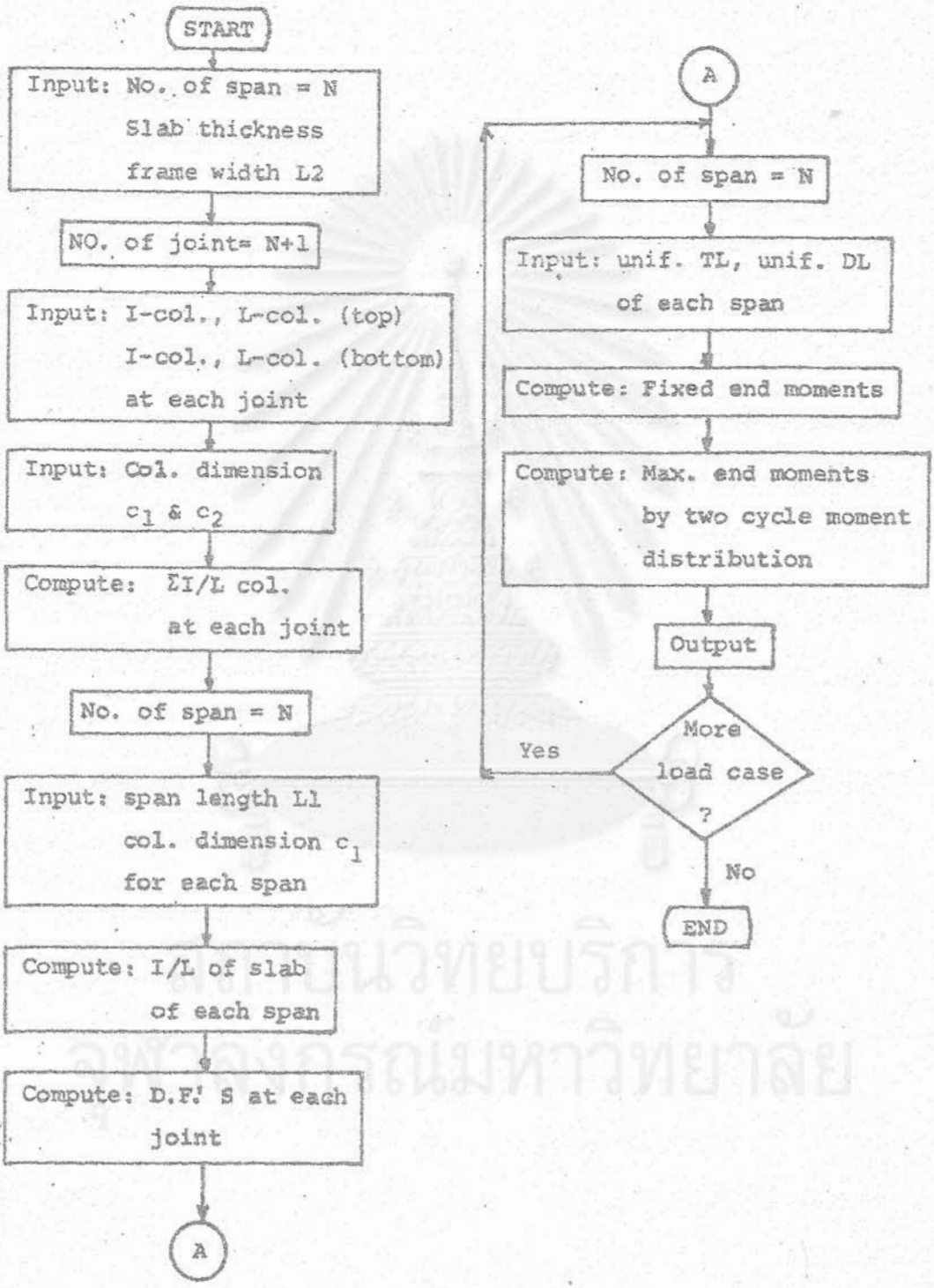
โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากความรู้ดังได้กล่าวมาแล้ว การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็สามารถทำได้โดยไม่ลำบาก Flow Chart แสดงขั้นตอนการคำนวณได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และ Listing ของโปรแกรมได้ให้ไว้ในภาคผนวก ก โปรแกรมได้เขียนในภาษา BASIC ใช้กับเครื่องพ็อกเก็ตคอมพิวเตอร์ SHARP รุ่น PC-1211 อย่างไรก็ตามการแก้ไขโปรแกรมเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้สามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้ สำหรับข้อมูลที่จะต้องป้อนได้แก่

- จำนวนช่วงระหว่างเสา
- ความหนาของพื้น (h)
- ความกว้างของพื้น (L2)
- โมเมนต์อินเนเชียของเสาบน, ล่าง (I_c)
- ความยาวของเสาบน, ล่าง (L_c)
- ความลึกของหน้าเสา (c_1)
- ความลึกของหน้าเสา (c_2)
- ความยาวระหว่างช่วงเสา (L1)
- น้ำหนักบรรทุกกระจาย TL (DL+LL)
- น้ำหนักบรรทุกกระจาย DL (DL)

อนึ่งในกรณีที่ต้องการคำนึงเฉพาะน้ำหนักบรรทุกเพียง case เดียวในระหว่าง span ก็สามารถทำได้โดยการป้อนค่า TL เท่ากับ DL ดังเช่นกรณีของ load case 1 ในตัวอย่างที่จะกล่าวต่อไป และในกรณีที่ต้องการทำ pattern load หลาย ๆ case สำหรับ frame เดิม ผู้อ่านก็สามารถทำได้ทันทีโดยบอกให้เครื่องคอมพิวเตอร์ไปเริ่มคำนวณตั้งแต่ step A (รูปที่ 3.1) โดยไม่ต้องเริ่มคำนวณใหม่ตั้งแต่ต้น เพราะสำหรับ frame เดิมค่า distributed factor ต่าง ๆ จะยังคงเหมือนเดิม



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

บทที่ 4

ตัวอย่าง

4.1 ตัวอย่าง

รูปที่ 4.1 แสดงขนาดและข้อมูลต่าง ๆ ของ frame เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ โดยที่ตัวอย่างนี้นำมาจากหนังสือ Notes on ACI 318-71[5] ขั้นตอนการป้อนข้อมูลได้แสดงไว้ในข้างล่าง ตาราง 4.1 แสดงผลการเปรียบเทียบ โดยตัวเลขในวงเล็บแสดงค่าที่ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการจัดน้ำหนักบรรทุกตาม span ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าโมเมนต์ที่สูงสุด (load case 1 ถึง load case 5) ส่วน load case 6 เป็นการวาง pattern load ในลักษณะของ checker board loading เพื่อให้ได้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ปลายโดยการป้อนข้อมูลเพียงครั้งเดียว เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการสลับตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกให้โดยอัตโนมัติ

ในการีของ load case 4 ซึ่งปลายข้างขวาเปรียบเสมือนถูกยึดแน่น การป้อนข้อมูลต้องอาศัยการดัดแปลงเล็กน้อย ในตัวอย่างนี้จะสมมุติว่ามีพื้นอีกหนึ่งช่วง (ตามเส้นประ) ค่า I_c ของเส้นประสมมุติให้มีน้อยมาก คือเท่ากับ 0.00001 ความยาว L_c มีค่าเท่ากับ 100 ส่วน เส้นประของพื้น l_1 สมมุติให้มีค่าเท่ากับ 0.00001 ซึ่งในการทำเช่นนี้เพื่อให้จุดเชื่อมจุดที่ 3 ทำหน้าที่เป็นจุดยึดแน่นในตัวเอง

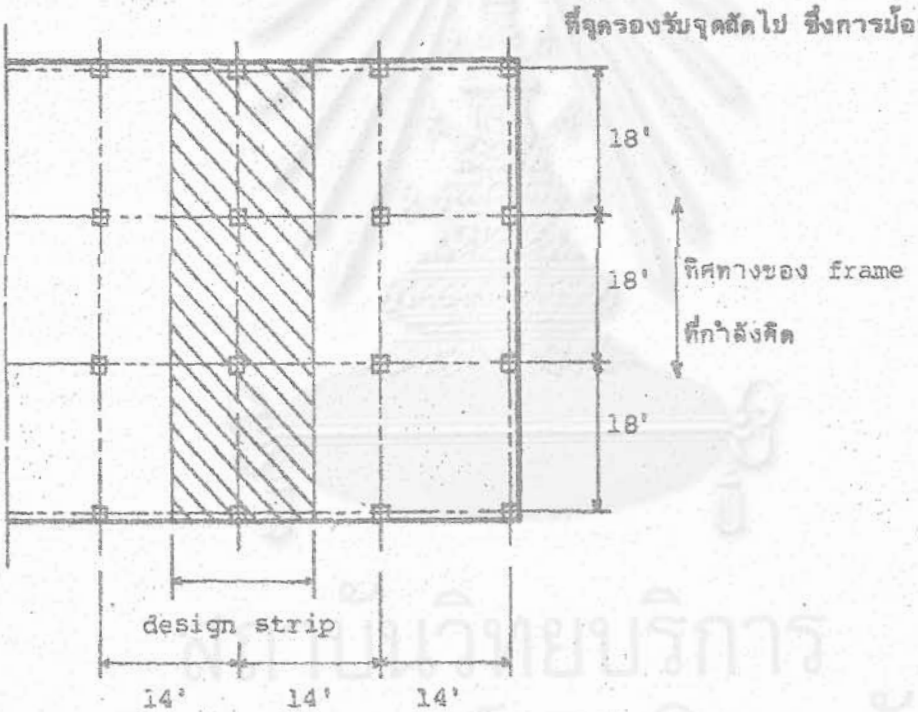
การป้อนข้อมูล ทำตามขั้นตอนดังนี้

	ใส่ข้อมูล	ผลลัพธ์	หมายเหตุ
1.	SHFT A	INT FR? NO = 1 YES = 2	โครงข้อแข็งภายใน ? ไม่ใช่ 1 ใช่ 2
2.	2	NOSP =	ตามจำนวนช่วงพื้นทั้งหมด
3.	3	T-SLAB =	ตามความหนาของพื้น
4.	0.583	L2 =	ตามความกว้างของโครงข้อแข็ง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	ใส่ข้อมูล	ผลลัพธ์	หมายเหตุ
5.	14	I-COL =	ตามโมเมนต์อินเนเชีย } เสาชั้นบน
6.	0.263	L-COL =	ตามความยาว } เสาชั้นบน
7.	9	I-COL =	ตามโมเมนต์อินเนเชีย } เสาชั้นล่าง
8.	0.263	L-COL =	ตามความยาว } เสาชั้นล่าง
9.	9	C1 =	ตามความกว้างของเสา
10.	1.333	C2 =	ตามความลึกของเสา
11.	1.333	I-COL =	ตามโมเมนต์อินเนเชียของเสาชั้นบน ที่จุดรองรับจุดสัดไป ซึ่งการป้อน

4 ครั้ง

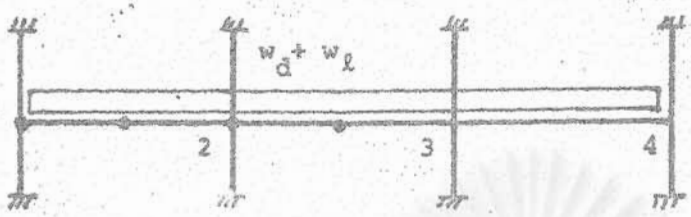


ข้อมูล

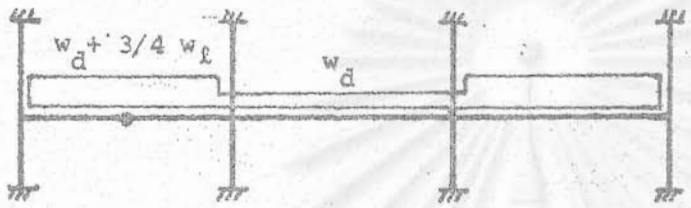
ความสูงของเสา	= 9'	
ขนาดเสา	= 1.333'x1.333'	($c_1$xc$_2$)
ความหนาของพื้น	= 0.583'	(h)
ความกว้างของ frame	= 14'	(L2)
ความยาวของช่วงเสา	= 18'	(ℓ_1, L1)
unif. DL	= 2.11 k/ft	
unif. LL	= 0.95 "	
DL+LL	= 3.06 "	
DL+3/4LL	= 2.82 "	

รูปที่ 4.1 ขนาดและข้อมูลต่าง ๆ ของ frame ในตัวอย่าง 4.1 (จาก Notes on ACI 318-71)

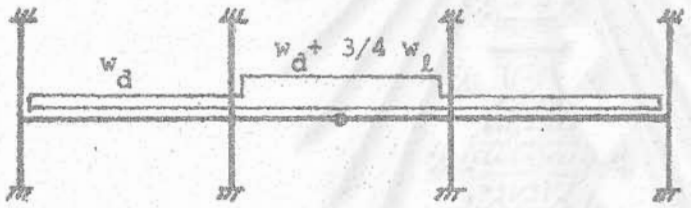
021913



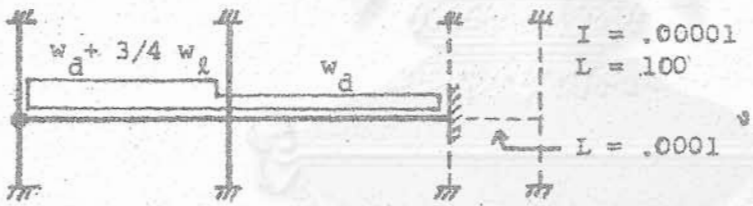
ก. load case 1



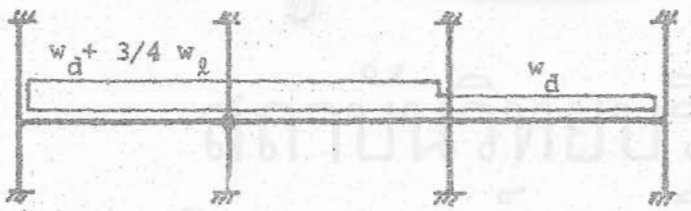
ข. load case 2



ค. load case 3



ง. load case 4



จ. load case 5

ฉ. load case 6
(load case 2+load case 3)
(with $w_d + w_\ell$)

รูปที่ 4.2 ลักษณะการวางน้ำหนักบรรทุกในตัวอย่าง (ตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์สูงสุด)

	ใส่ข้อมูล	ผลลัพธ์		หมายเหตุ
				ข้อมูลจะเหมือนกันในข้อ 6-11 ดังนั้น จึงป้อนข้อมูลทั้งหมด 4 ครั้ง
12.	1.333	L1 =		ถามความยาวช่วงพื้น
13.	18	C1 =		ถามความกว้างของเสา
14.	1.333	L1 =		ถามความยาวช่วงพื้นช่วงถัดไป ซึ่งการป้อนข้อมูลจะเหมือนกับในข้อ 13-14 ดังนั้น จึงป้อนข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้ง

Load Case 1

15.	1.333	LT CANT M-TL	=	ถามค่าโมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านซ้าย	
16.	0	LT CANT M-DL	=	ถามค่าโมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลาย	
17.	0	RT CANT M-TL	=	ถามค่าโมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านขวา	
18.	0	RT CANT M-DL	=	ถามค่าโมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านขวา	
19.	0	UNIF-TL	=	ถามค่า total load	
20.	3.06	UNIF-DL	=	ถามค่า dead load	พื้นช่วงที่ 1
21.	3.06	NPTLD	=	ถามจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด	
22.	0	UNIF-TL	=	ถามค่า total load ในพื้นช่วงถัดไปซึ่งเหมือนกับในข้อ 20-22 ดังนั้นจึงป้อนข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้ง	
23.		M = -49.2		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 1	
24.	ENTER	M = -94.5		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับที่จุดที่ 2 (ซ้ายและขวา)	
25.		M = -87.4			
26.	ENTER	M = -87.4		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 3 (ซ้ายและขวา)	
27.		M = -94.5			
28.	ENTER	M = -49.2		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดสุดท้าย	

(3 ครั้ง)

Load Case 2

1.	SHFT B	LT CANT M-TL	=	ลามค่าโมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านซ้าย	
2.	0	LT CANT M-DL	=	ลามค่าโมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านซ้าย	
3.	0	RT CANT M-TL	=	ลามค่าโมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านขวา	
4.	0	RT CANT M-DL	=	ลามค่าโมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านขวา	
5.	0	UNIF-TL	=	ลามค่า total load	พื้นช่วงที่ 1
6.	2.82	UNIF-DL	=	ลามค่า dead load	
7.	2.82	UPTLD	=	ลามจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด	
8.	0	UNIF-TL	=	ลามค่า total load	พื้นช่วงที่ 2
9.	2.11	UNIF-DL		ลามค่า dead load	
10.	2.11	NPTLD	=	ลามจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด	
11.	0	UNIF-TL	=	ลามค่า total load	พื้นช่วงที่ 3
12.	2.82	UNIF-DL	=	ลามค่า dead load	
13.	2.82	NPTLD	=	ลามจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด	
14.	0	M = 047.0		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 1	
15.	ENTER	M = -80.8 M = -64.9		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 2 (ซ้ายและขวา)	
16.	ENTER	M = -64.9 M = -80.8		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 3 (ซ้ายและขวา)	
17.	ENTER	M = -47.0		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดสุดท้าย	

สำหรับ Load Case 3 และ 5 จะมีลักษณะการป้อนข้อมูลเช่นเดียวกับใน Load Case 2 แต่เปลี่ยนค่า UNIF-TL และ UNIF-DL ตามที่ปรากฏจริงในรูปที่ 4.2

Load Case 6

1.	SHFT B	LT CANT M-TL =		ลายค่าโมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านซ้าย
2.	0	LT CANT M-DL =		ลายค่าโมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านซ้าย
3.	0	RT CANT M-TL =		ลายค่าโมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านขวา
4.	0	RT CANT M-DL =		ลายค่าโมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านขวา
5.	0	UNIF-TL	=	ลายค่า total load
6.	3.06	UNIF-DL	=	ลายค่า dead load } พื้นช่วงที่ 1
7.	2.11	NPTLD	=	ลายจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด
8.	0	UNIF-TL	=	ลายค่า total load ในพื้นช่วงถัดไปซึ่งเหมือนกับในข้อ 6-8 ดังนั้นจึงป้อนข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้ง
9.		M = -51.4		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 1
10.	ENTER	M = -95.6 M = -90.1		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 2 (ซ้ายและขวา)
11.	ENTER	M = -90.1 M = -95.6		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 3 (")
12.	ENTER	M = -51.4		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดสุดท้าย

3 ครั้ง

Load Case 4 ในกรณีนี้ลักษณะของ Equivalent Frame ได้เปลี่ยนไปดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ง การป้อนข้อมูลเข้าเครื่องประกอบด้วย

1.	SHFT A	INT FR? NO=1 YES=2		โครงข้อแข็งภายใน ? ไม่ใช่ = 1 ใช่ = 2
2.	2	NOSP	=	ลายจำนวนช่วงพื้นทั้งหมด
3.	3	T-SLAB	=	ลายความหนาของพื้น
4.	0.583	L2	=	ลายความกว้างของโครงข้อแข็ง
5.	14	I-COL	=	ลายโมเมนต์อินเนเชีย } เสาชั้นบน
6.	0.263	L-COL	=	ลายความยาว } เสาชั้นบน
7.	9	I-COL	=	ลายโมเมนต์อินเนเชีย } เสาชั้นล่าง
8.	0.263	L-COL	=	ลายความยาว } เสาชั้นล่าง
9.	9	C1	=	ลายความกว้างของเสา
10.	1.333	C2	=	ลายความลึกของเสา
11.	1.333	I-COL	=	ลายโมเมนต์อินเนเชียของเสาชั้นบนที่จุดรองรับจุดที่ 2 ซึ่งการป้อนข้อมูลจะเหมือนกับในข้อ 6-11 ดังนั้นจึงป้อนข้อมูลทั้งหมด 2 ครั้ง

2 ครั้ง

2 ครั้ง	12.	0.00001	L-COL	=	ลายความยาว
	13.	100	I-COL	=	ลายไมเมนต์อินเนเชีย
	14.	0.00001	L-COL	=	ลายความยาว
	15.	100	C1	=	ลายความกว้างของเสา
	16.	1.333	C2	=	ลายความลึกของเสา
	17.	1.333	I-COL	=	ลายไมเมนต์อินเนเชียของเสาชั้นบนที่จุดรองรับจุดที่ 4
	18.				ซึ่งการป้อนข้อมูลจะเหมือนกับในข้อ 12-17 ดังนั้นจึง ป้อนข้อมูลทั้งหมด 2 ครั้ง
	18.	1.333	L1	=	ลายความยาวช่วงพื้น } พื้นช่วงที่ 1
	19.	18	C1	=	ลายความกว้างของเสา }
	20.	1.333	L1	=	ลายความยาวช่วงพื้น } พื้นช่วงที่ 2
	21.	18	C1	=	ลายความกว้างของเสา }
	22	1.333	L1	=	ลายความยาวช่วงพื้น } พื้นช่วงที่ 3
	23.	0.0001	C1	=	ลายความกว้างของเสา }
	24.	1.333	LT CANT M-TL	=	ลายค่าไมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านซ้าย
	25.	0	LT CANT M-DL	=	ลายค่าไมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านซ้าย
	26.	0	RT CANT M-TL	=	ลายค่าไมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านขวา
	27.	0	RT CANT M-DL	=	ลายค่าไมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านขวา
	28.	0	UNIF-TL	=	ลายค่า total load } พื้นช่วงที่ 1
	29.	2.82	UNIF-DL	=	ลายค่า dead load }
	30.	2.82	NPTLD	=	ลายจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด }
	31.	0	UNIF-TL	=	ลายค่า total load } พื้นช่วงที่ 2
	32.	2.11	UNIF-DL	=	ลายค่า dead load }
	33.	2.11	NPTLD	=	ลายจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด }
	34.	0	UNIF-TL	=	ลายค่า total load } พื้นช่วงที่ 3
	35.	0	UNIF-DL	=	ลายค่า dead load }
	36.	0	NPTLD		ลายจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด }
	37.	0	M=-47.1		ค่าไมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 1

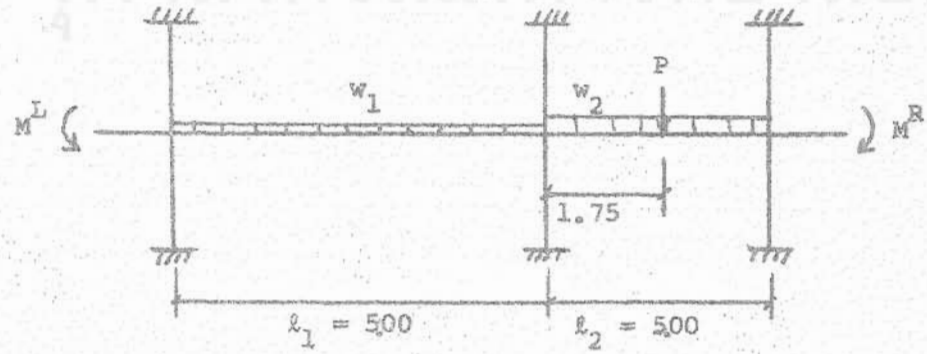
38. ENTER M=-80.3 M=-67.1 ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 2

39. ENTER M=-56.1 ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 3

ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับที่ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ ใน load case ต่าง ๆ ได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 4.1 เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าโมเมนต์ที่นำมาจากหนังสือ PCA ซึ่งคำนวณโดยอาศัยค่า carry over factor ที่แท้จริง (ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้ค่า carry over factor ประมาณ คือเท่ากับ 0.5) จะพบว่ามีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นค่า carry over factor ประมาณที่ใช้ในการคำนวณ จึงสามารถยอมรับได้

จากการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ได้จาก load case ต่าง ๆ ทั้ง 6 ชุดดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 จะพบว่าค่าโมเมนต์สูงสุดที่จุดรองรับที่ได้จาก load case 6 สามารถใช้แทนผลลัพธ์ที่ได้จาก load cases 1, 4 และ 5 ได้อย่างปลอดภัย ส่วนค่าโมเมนต์สูงสุดในระหว่างช่วงพื้นจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ load cases 2 และ 3

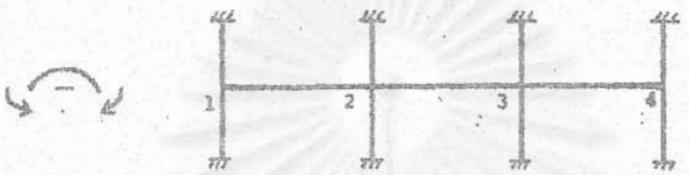
ตัวอย่าง 4.2 รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของโครงสร้าง Flat Plate ซึ่งมีปลายยื่นออกทั้งด้านซ้ายและด้านขวา นอกจากนี้ในพื้นช่วงที่สองมีน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดอยู่ที่กึ่งกลางความยาวอีกด้วย ความยาวของพื้นช่วงที่หนึ่งมีค่าเท่ากับ 5.00 เมตร ในขณะที่ความยาวของพื้นช่วงที่สองมีค่าเท่ากับ 3.50 เมตร ขนาดของเสามีค่าเท่ากับ 0.25x0.25 เมตร ทั้งชั้นล่างและชั้นบน โมเมนต์กระทำที่ปลายยื่นด้านซ้ายและด้านขวามีค่าเท่ากับ 4.32 ตัน-เมตร และ 3.12 ตัน-เมตร ตามลำดับ พื้นมีความหนา 0.15 เมตรตลอด ชั้นแต่ละชั้นสูง 2.70 เมตร



รูปที่ 4.3 Flat Plate ปลายยื่น 2 ข้าง

ตาราง 4.1 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์จาก frame ในตัวอย่าง

(ตัวเลขในวงเล็บแสดงค่าที่ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์)



Joint	1	2		3	4
D.F.	0.384 (0.405)	0.278 (0.288)	0.278 (0.288)	Symmetrical	
C.O.	0.509 (0.50)	0.509 (0.50)	0.509 (0.50)	Symmetrical	

Load case 1. All spans loaded with full design LL

M	-53.0 (-49.2)	-95.0 (-94.5)	-86.7 (-87.4)	Symmetrical

Load case 2. First and third spans loaded with 3/4 design LL

M	-50.7 (-47.0)	-81.6 (-80.8)	-63.6 (-64.9)	Symmetrical

Load case 3. Center span loaded with 3/4 design LL

M	-34.5 (-32.3)	-71.3 (-71.5)	-75.8 (-75.9)	Symmetrical

Load case 4. First span loaded with 3/4 design LL and slab assumed fixed at support two spans distant

M	-50.5 (-47.1)	-83.0 (80.3)	-67.4 (-67.1	-62.5 (-56.1)	

Load case 5. First and second spans loaded with 3/4 design LL

M	-48.5 (-45.3)	-88.8 (-87.9)	-82.0 (-82.5)	-73.5 (-73.9)	-70.4 (-70.7)	-34.8 (-32.3)

Load case 6. Checker board loading with full design LL

M	(-51.4)	(-95.6)	(-90.1)	Symmetrical

ข้อมูล: ความสูงของเสา = 2.70 เมตร

ขนาดเสา = 0.25x0.25 ($c_1 x c_2$) เมตร

ความหนาของพื้น = 0.15 (h) เมตร

ความกว้างของ frame = 4.00 (L2) เมตร

w_1 = 2.24 ตัน/เมตร

w_2 = 3.60 ตัน/เมตร

M^L = -4.32 ตัน-เมตร

M^R = -3.12 ตัน-เมตร

การป้อนข้อมูล ทำตามขั้นตอนดังนี้

	ใส่ข้อมูล	ผลลัพธ์		หมายเหตุ	
1.	SHFT A	INT FR? NO = 1 YES = 2		โครงข้อแข็งภายใน? ไม่ใช่ = 1 ใช่ = 2	
2.	2	NOSP	=	ถามจำนวนช่วงพื้นทั้งหมด	
3.	2	T-SLAB	=	ถามความหนาของพื้น	
4.	.15	L2	=	ถามความกว้างของโครงข้อแข็ง	
5.	4	I-COL	=	ถามค่าโมเมนต์อินเนเชีย	เสาชั้นบน
6.	.00033	L-COL	=	ถามความยาว	เสาชั้นบน
7.	2.7	I-COL	=	ถามโมเมนต์อินเนเชีย	เสาชั้นล่าง
8.	.00033	L-COL	=	ถามความยาว	เสาชั้นล่าง
9.	2.7	C1	=	ถามความกว้างของเสา	
10.	.25	C2	=	ถามความลึกของเสา	
11.	.25	I-COL	=	ถามโมเมนต์อินเนเชียของเสาชั้นบน ที่จุดรองรับจุดถัดไป ซึ่งการป้อนข้อมูลจะเหมือนกับในข้อ 6-11 ดังนั้นจึงป้อนข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้ง	
12.	.25	L1	=	ถามความยาวช่วงพื้น	ช่วงที่ 1
13.	5	C1	=	ถามความกว้างของเสา	ช่วงที่ 1

3 ครั้ง

14.	.25	L1	=	ถามความยาวช่วงพื้น } ช่วงที่ 2
15.	3.5	C1	=	ถามความกว้างของเสา } ช่วงที่ 2
16.	.25	LT CANT M-TL	=	ถามค่าโมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านซ้าย
17.	-4.32	LT CANT M-DL	=	ถามค่าโมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านซ้าย
18.	-4.32	RT CANT M-TL	=	ถามค่าโมเมนต์รวมที่ปลายยื่นด้านขวา
19.	-3.12	RT CANT M-DL	=	ถามค่าโมเมนต์เนื่องจาก DL ที่ปลายยื่นด้านขวา
20.	-3.12	UNIF-TL	=	ถามค่า total load } พื้นช่วงที่ 1
21.	2.24	UNIF-DL	=	ถามค่า dead load } พื้นช่วงที่ 1
22.	2.24	NPTLD	=	ถามจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด } พื้นช่วงที่ 1
23.	0	UNIF-TL	=	ถามค่า total load } พื้นช่วงที่ 2
24.	3.60	UNIF-DL	=	ถามค่า dead load } พื้นช่วงที่ 2
25.	3.60	NPTLD	=	ถามจำนวนน้ำหนักกระทำเป็นจุด } พื้นช่วงที่ 2
26.	1	P-TL	=	ถามขนาดของแรงรวมที่กระทำเป็นจุด
27.	2	P-DL	=	ถามขนาดของแรงเนื่องจาก DL ที่กระทำเป็นจุด
28.	2	XA	=	ถามระยะจากปลายซ้ายของช่วงพื้น
29.	1.75	M = -4.45	=	ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 1 ด้านขวา
30.	ENTER	M = -4.87		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 2 (ซ้ายและขวา)
		M = -4.92		
31.	ENTER	M = -3.50		ค่าโมเมนต์ที่จุดรองรับจุดที่ 3 ด้านซ้าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1 สรุป

การวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate สามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในภาคผนวก ก. ซึ่งเขียนขึ้นตามขั้นตอนการคำนวณโดยวิธี Equivalent Frame ส่วนการกระจายค่าโมเมนต์ที่ปลายได้อาศัยวิธี Two-cycle Moment Distribution ผลการวิเคราะห์จะได้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ปลายที่จุดรองรับทุกจุด โดยที่การคำนวณจะทำการสลับตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกจรในช่วงพื้นต่าง ๆ เพื่อให้เกิดค่าโมเมนต์สูงสุดที่ปลาย

อนึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ สามารถใช้กับระบบพื้นที่มีปลายยื่นอิสระออกไปจากตัวอาคาร (cantilever) ทั้งสองข้าง นอกจากนี้น้ำหนักบรรทุกบนพื้นสามารถเป็นได้ทั้งชนิดที่กระทำสม่ำเสมอและกระทำเป็นจุด ดังนั้นวิศวกรจึงสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวทำการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ในพื้นระบบ Flat Plate ได้อย่างกว้างขวาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

1. ดร. ทักษิณ เทพชาตรี "ไมโครคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์โครงสร้าง" 2526.

2. Clarke, D. "Computer Aided Structural Design" John Wiley & Sons, 1978.

3. Noris, C.H.; Wilbur, J.B., "Elementary Structural Analysis", McGraw Hill, 1960.

4. Rice, P.F.; Hoffman, E.S., "Structural Design Guide to the ACI Building Code", Van Nostrand Reinhold Company, Second Edition 1977.

5. "Notes on ACI 318-71 Building Code Requirements with Design Applications" PCA, 1972.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดโปรแกรมคอมพิวเตอร์

```
10:"A":CLEAR
15:INPUT "INT F
   R? NO=1 YES=
   2 ";L
20:INPUT "NOSP=
   ";A,"T-SLAB=
   ";H,"L2=";J:
   C=12+2*A
30:FOR B=1TO A+
   1:BEEP B
40:E=0
50:FOR D=1TO 2
60:INPUT "I-COL
   =";I,"L-COL=
   ";F
70:K=4*I/(F-2*H
   ):E=E+K
80:NEXT D
90:INPUT "C1=";
   F,"C2=";G
100:I=(1-.63*H/G
   )*H^3*G/3*L
110:I=9*I/J/(1-G
   /J)^3
120:A(C)=E*I/(E+
   I):C=C+1
130:NEXT B
140:C=12+2*A:D=1
   1:G=C+A+2:F=
   14+A*6
150:FOR B=1TO A:
   BEEP B
160:INPUT "L1=";
   E,"C1=";I
170:A(F)=E:A(G)=
   4*(J*H^3/12)
   /(E-I/2)
180:E=A(C)+A(G-1
   )+A(G)
190:A(D)=A(G-1)/
   E:A(D+1)=A(C
   )/E
200:G=G+1:C=C+1:
   D=D+2:F=F+1
210:NEXT B
220:A(D)=A(G-1)/
   (A(C)+A(G-1)
   )
230:"B":D=12+A*2
   :C=D+2*A+1:J
   =14+A*6:I=J+
   A
235:INPUT "LT CA
   NT M-TL=";G,
   "LT CANT M-D
   L=";H
236:A(I)=G:A(C-1
   )=H
237:INPUT "RT CA
   NT M-TL=";G,
   "RT CANT M-D
   L=";H
238:A(I+1)=G:A(J
   -1)=H
240:FOR B=1TO A
250:F=-A(J)*A(J)
   /12:BEEP B
260:INPUT "UNIF-
   TL=";E
```

ภาคผนวก ก. (ต่อ)

```
270:A(D)=E*F:A(D
    +1)=A(D)
280:INPUT "UNIF-
    DL=";E
290:A(C)=E*F:A(C
    +1)=A(C)
291:INPUT "NPTLD
    =";I
292:IF I=0GOTO 3
    00
293:FOR F=1TO I:
    BEEP F
294:INPUT "P-TL=
    ";E,"P-DL=";
    H,"XA=";G
295:E=E*G*(A(J)-
    G)/A(J)/A(J)
    :H=H*G*(A(J)
    -G)/A(J)/A(J
    )
296:A(D)=A(D)-E*
    (A(J)-G):A(D
    +1)=A(D+1)-E
    *G
297:A(C)=A(C)-H*
    (A(J)-G):A(C
    +1)=A(C+1)-H
    *G
298:NEXT F
300:C=C+2:D=D+2:
    J=J+1
310:NEXT B
320:I=12:J=I+2*A
    :H=J+2*A:D=1
    4+A*7
330:G=(A(J)+(A(J
    +1)-A(H+3))*
    A(I+1)/2)*(1
    -A(I))+A(D)*
    A(I)
340:PRINT USING
    "######.##";
    "M=";G
350:FOR B=1TO A-
    1
355:IF A=1THEN 4
    00
360:E=A(J+1)+(A(
    J)-A(H))*A(I
    )/2
370:F=A(J+2)+(A(
    J+3)-A(H+5))
    *A(I+3)/2
380:D=E-(E-F)*A(
    I+1):G=F+(E-
    F)*A(I+2)
390:PRINT "M=";D
    ;" M=";G
400:I=I+2:J=J+2:
    H=H+2
410:NEXT B
415:D=15+A*7
420:G=(A(J+1)+(A
    (J)-A(H))*A(
    I)/2)*(1-A(I
    +1))+A(D)*A(
    I+1)
430:PRINT "M=";G
440:END
```