บทที่ 3

ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำวิธีการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทฤษฎีสตริป มาประยุกต์กับไมโครคอมพิวเตอร์ ทฤษฎีสตริปสามารถใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบแผ่นพื้นที่มีรูปร่างและเงื่อนไขที่ขอบได้อย่างกว้างขวาง แต่ในการวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์ เนื่องจากมีเงื่อนไขและตัวแปรค่อนข้างจะมาก การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์แผ่นพื้นที่มีรูปแบบต่าง ๆ กัน จึงค่อนข้างจะยุ่งยาก ในงานวิจัยจะมุ่งพิจารณาแผ่นพื้นที่มีลักษณะการใช้งานที่พบเห็นกันบ่อย ๆ เท่านั้น

3.2 เทคนิคที่ใช้ในการศึกษา

ในการวิเคราะห์หาแรงดัดในแผ่นพื้น โดยใช้ทฤษฎีสตริปนี้ เนื่องจากวิธีสตริปสามารถเลือกรูปแบบของวิธีการแบ่งพื้นที่การถ่ายน้ำหนักบรรทุกได้มากมายหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะให้ค่าแรงดัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแผ่นพื้นแตกต่างกัน เพื่อให้มั่นใจได้ว่า แรงดัดที่วิเคราะห์มาได้มีค่าน้อยที่สุด และเข้าใกล้แรงดัดประลัยมากที่สุด อีกทั้งให้รูปแบบการจัดเรียงเหล็กเสริมที่เหมาะสม ดังนั้นจะต้องพิจารณาเส้นที่ใช้ในการแบ่งพื้นที่การถ่ายน้ำหนักบรรทุกมากมาย ปัญหาที่ตามมาก็คือ เมื่อนำไปประยุกต์กับคอมพิวเตอร์โปรแกรมจะยาวมาก เป็นการสิ้นเปลืองหน่วยความจำของเครื่อง อีกทั้งกินเวลาในการคำนวณมากด้วย ดังนั้นจึงต้องใช้เทคนิคต่าง ๆ เข้าช่วยในการลดหน่วยความจำที่จะต้องใช้และเวลาการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วย เทคนิคที่นำไปประยุกต์กับคอมพิวเตอร์แบ่งออกได้ดังนี้

3.2.1 การกำหนดลักษณะการแบ่งพื้นที่การถ่ายน้ำหนักบรรทุก

เนื่องจากวิธีสตริปเป็นวิธีของขอบเขตล่าง ถ้าใช้วิธีการแบ่งพื้นที่การถ่ายน้ำหนักบรรทุกในแผ่นพื้นที่แตกต่างกัน จะได้การกระจายของแรงดัดที่แตกต่างกันเช่นกัน แต่เนื่องจากว่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงดัดประลัยเสมอดังนั้น เราสามารถเลือกรูปแบบการ

ถ่ายน้ำหนักบรรทุกรูปแบบใดก็ได้ที่เหมาะสมมาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิธีการในการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมจะต้องประกอบด้วย

ก. แรงตัดที่คำนวณมาได้จะต้องให้ค่าที่ใกล้เคียงกับแรงตัดที่คำนวณมาได้โดยทฤษฎียีลด์ไลน์

ข. ให้การกระจายของแรงดัดค่อนข้างสม่ำเสมอ ให้การจัดเรียงเหล็กเสริมสม่ำเสมอ สะดวกในการทำงานจริง

3.2.2 ใช้หลักการผลต่างเชิงอนุพันธ์ย่อยแบบทำซ้ำ

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาปริมาตรของแรงตัด ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ปริมาตรของแรงตัด ดังกล่าวจะอยู่ในรูปของสมการ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเส้นแบ่งพื้นที่ การถ่ายน้ำหนักบรรทุก อัตราส่วนของด้านสั้นกับด้านยาว อัตราส่วนของแรงดัดลบต่อแรงดัดบวก (ผลจากลักษณะของที่รองรับ) การหาชุดของตัวแปรโดยตรง โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำให้ปริมาตรของแรงดัดออกมามีค่าน้อยที่สุดนั้น ค่อนข้างยุ่งยากมาก จึงใช้วิธีสมมุติตัวแปรต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ละน้อย ๆ ภายในพิสัยของตัวแปรนั้น ๆ

หลักการของผลต่างเชิงอนุพันธ์ย่อยคือ ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ละตัว โดยการกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ สำหรับวิธีการโดยละเอียดสามารถหาได้ในเอกสารอ้างอิง (25) แต่ในงานวิจัยนี้ เพื่อให้การคำนวณหาค่าของตัวแปรเร็วขึ้น ได้หาช่วงของค่าตัวแปรที่ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องไว้ในโปรแกรมแล้ว จึงทำให้การคำนวณแผ่นพื้นชนิดไม่มีช่องเปิด สามารถหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว

3.2.3 วิธีการจัดกลุ่มตัวแปรคงที่

เนื่องจากสมการของปริมาตรของแรงดัดติดอยู่ในรูปตัวแปรต่าง ๆ และค่อนข้างจะยาวมาก คือติดอยู่ในรูปตัวแปรและตัวคงที่ต่าง ๆ นำให้คอมพิวเตอร์แก้ปัญหา หาค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยวิธีการแบบทำซ้ำ จะทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากทีเดียว เพื่อให้ประหยัดเวลาในการคำนวณซ้ำลงบางส่วน สามารถทำได้โดยการจัดรวบกลุ่มตัวแปรและตัวคงที่ลงก่อนจะนำสมการไปคำนวณในขั้นตอนต่อไป

3.3 ตัวอย่างการแก้สมการ

ในการวิเคราะห์สมการ เพื่อใช้ในการหาแรงดัดที่เกิดขึ้น ณ. ตำแหน่งต่าง ๆ และจุดดัดกลับในแผ่นพื้นนั้น จะสมมุติตำแหน่งและลักษณะของเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่องขึ้นมา สำหรับเหตุผลในการเลือกเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่องนั้นได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1.2 2.4 และ 3.2.1 หลังจากนั้นจึงกำหนดลักษณะการถ่ายน้ำหนักบรรทุกในแถบต่าง ๆ ใช้สมการสมดุลย์หารูปการกระจายของแรงดัด ซึ่งจะติดอยู่ในรูปตัวแปร ดังได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 3.2.2 และเมื่อทราบค่าแรงดัดแล้ว ก็สามารถหาปริมาตรของแรงดัด ซึ่งจะติดอยู่ในรูปตัวแปรที่ตำแหน่งต่าง ๆ เช่นกัน

พิจารณารูป 3.1 ซึ่งเป็นแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีที่รองรับแบบยึดแน่นสองด้านอยู่ชิดกัน ส่วนด้านที่เหลือเป็นแบบยึดหมุนรับน้ำหนักแผ่กระจายสม่ำเสมอเท่ากับ q ถ้าแบ่งกำหนดให้เส้นแสดงความไม่ต่อเนื่องอยู่ที่ตำแหน่งห่างออกมาจากที่ขอบแบบยึดหมุน a และ b ห่างออกมาจากขอบยึดแน่น $\sqrt{3}a$ และ$\sqrt{3}b$

พิจารณารูปที่หน้าตัด 1 - 1 จะได้แรงดัดและจุดดัดกลับดังนี้

$$M_1^+ = qb^2/4 \tag{3.1}$$

$$M_1^- = qb^2/2 \tag{3.2}$$

$$X_1 = (\sqrt{3} - 1)b \tag{3.3}$$

พิจารณารูปที่หน้าตัด 2-2 ค่าของแรงดัดและจุดดัดกลับจะมีค่าดังนี้

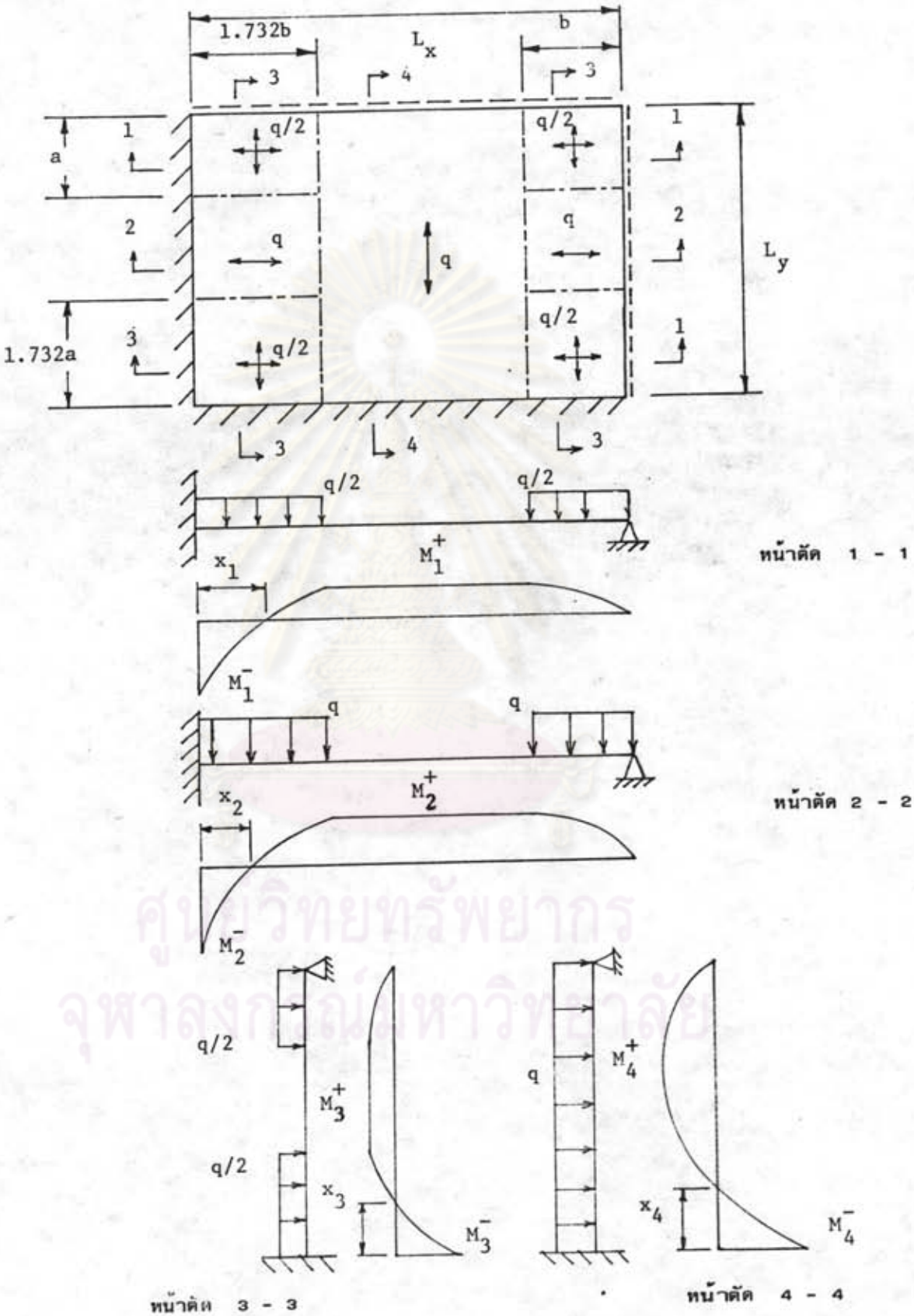
$$M_2^+ = qb^2/2 \tag{3.4}$$

$$M_2^- = qb^2 \tag{3.5}$$

$$X_2 = (\sqrt{3} - 1)b \tag{3.6}$$

ในทำนองเดียวกัน ก็สามารถหาแรงดัดและจุดดัดกลับของหน้าตัด 3-3 ได้ดังนี้คือ

$$M_3^+ = qa^2/4 \tag{3.7}$$



รูปที่ 3.1 ลักษณะการแบ่งพื้นที่การถ่ายน้ำหนักบรรทุก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$M_3^- = qa^2/2 \quad (3.8)$$

$$X_3 = (\sqrt{3} - 1)a \quad (3.9)$$

สำหรับที่หน้าตัด 4-4 จะได้

$$M_4^+ = 9qL_y^2/128 \quad (3.10)$$

$$M_4^- = qL_y^2/8 \quad (3.11)$$

$$X_4 = L_y/4 \quad (3.12)$$

ดังนั้น ปริมาตรของแรงตัดสามารถหาค่าได้ดังนี้คือ

$$V_m = M_1^+ L_x (\sqrt{3}+1)a + M_1^- (\sqrt{3}-1)b(\sqrt{3}+1)a + M_2^+ L_x (L_y - (\sqrt{3}+1)a)$$
$$+ M_2^- (\sqrt{3}-1)b (L_y - (\sqrt{3}+1)a) + M_3^+ L_y (\sqrt{3}+1)b$$
$$+ M_3^- (\sqrt{3}-1)a (\sqrt{3}+1)b + M_4^+ L_y (L_x - (\sqrt{3}+1)b)$$
$$+ M_4^- (L_x - (\sqrt{3}+1)b) L_y/4 \quad (3.13)$$

แทนค่า M_1^+ M_2^- M_2^+ และแรงตัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ แล้วรวมเทอมต่าง ๆ เข้าด้วยกันจะได้

$$V_m = \frac{q}{128}\left[- 87.4257ab^2 Lx - 128ab^3 + 64b^2 L_x L_y + 93.7024b^3 L_y + 87.4257a^2 bL_y + 128a^3 b + 5L_x L_y^3 - 35.5167bL_y^3 \right] \quad (3.14)$$

ถ้ากำหนดให้ $L_x = RL_y$ $b = CL_x = CRL_y$ และ $a = DL_y$

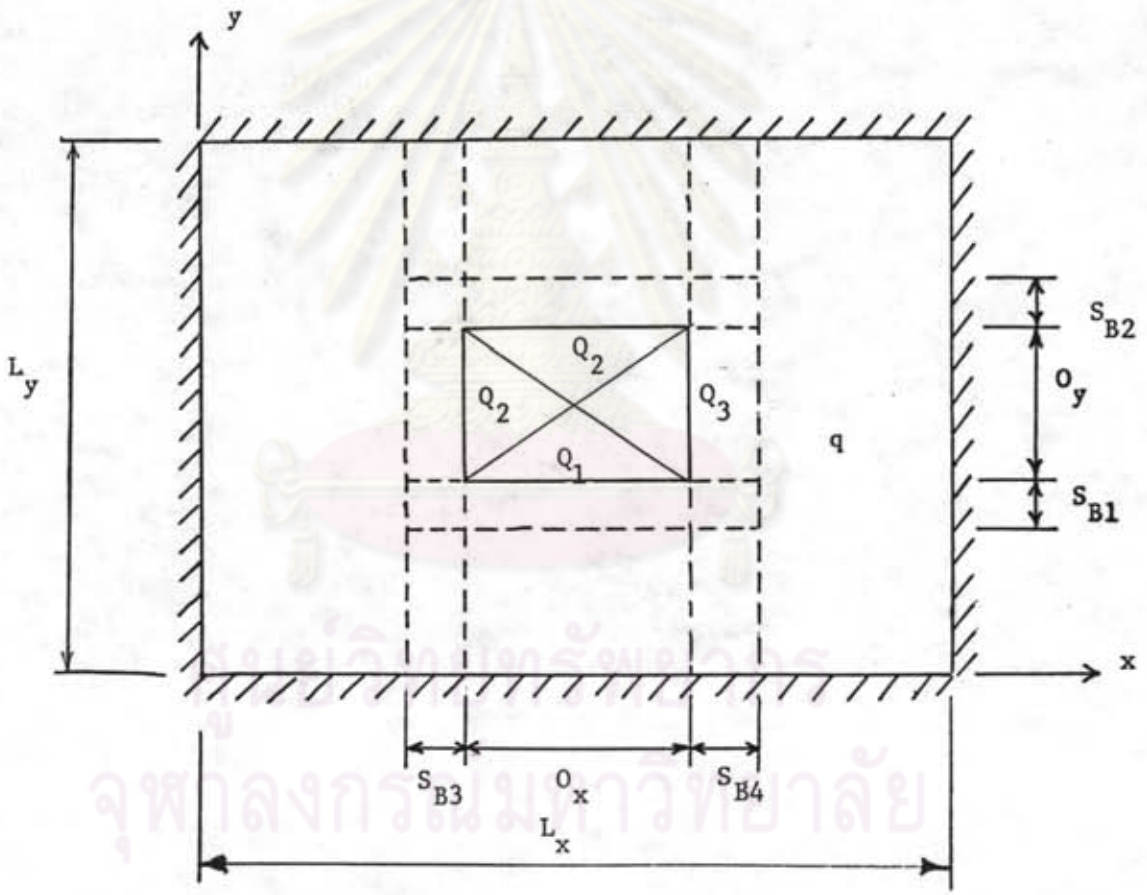
$$V_m = \frac{qL_y^4}{128}\left[- 87.4257R^3C^2D - 128R^3C^3D + 64R^3C^2 + 93.7024R^3C^3 + 87.4257RCD^2 + 128RCD^3 + 5R - 35.5167RC \right] \quad (3.15)$$

หาผลต่างเชิงอนุพันธ์ย่อยของปริมาตรของแรงตัด เทียบกับ C จะได้

$$(281.1072R^3-384R^3D)C^2 + (128R^3- 174.851R^3D)\ C+(87.4257RD^2 + 128RD^3 - 35.5167R) = 0 \qquad (3.16)$$

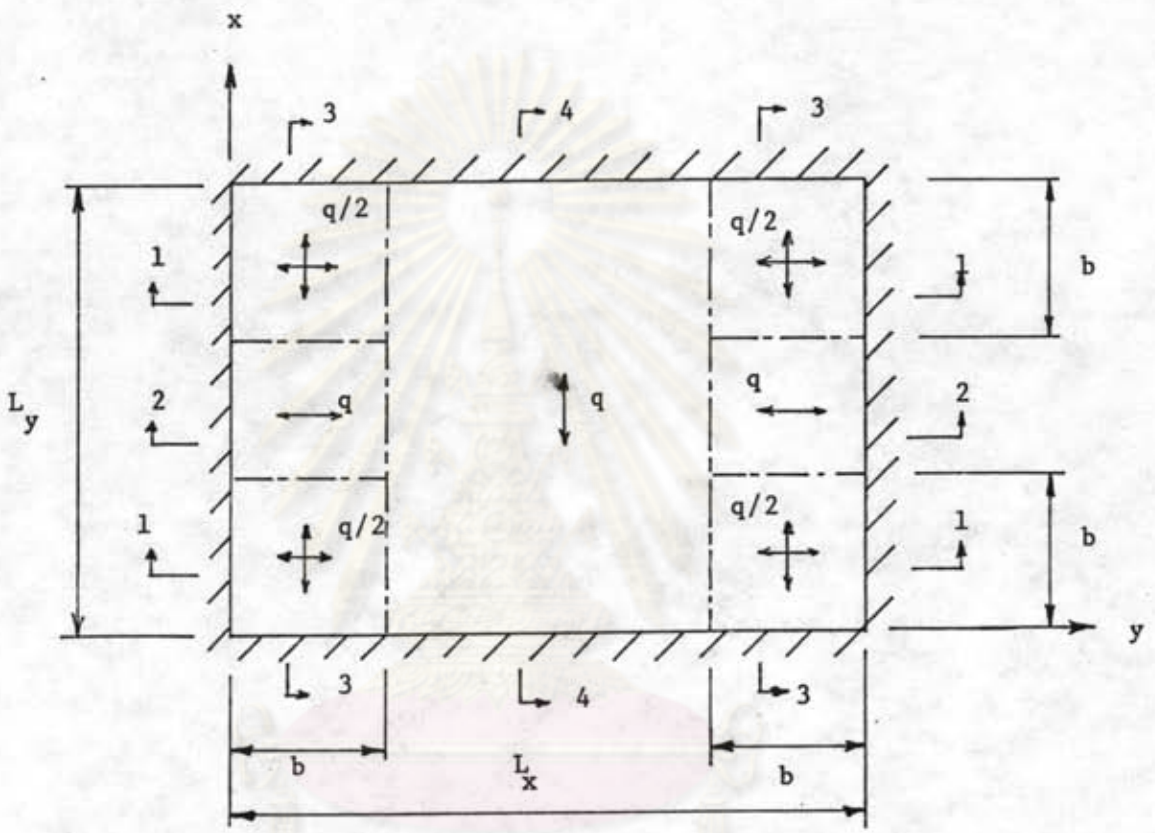
หาผลต่างเชิงอนุพันธ์ย่อยของปริมาตรของแรงตัด เทียบกับ D จะได้

$$384RCD^2 + 174.8514RCD - 87.4257R^3C^2 - 128R^3C^3 = 0 \qquad (3.17)$$



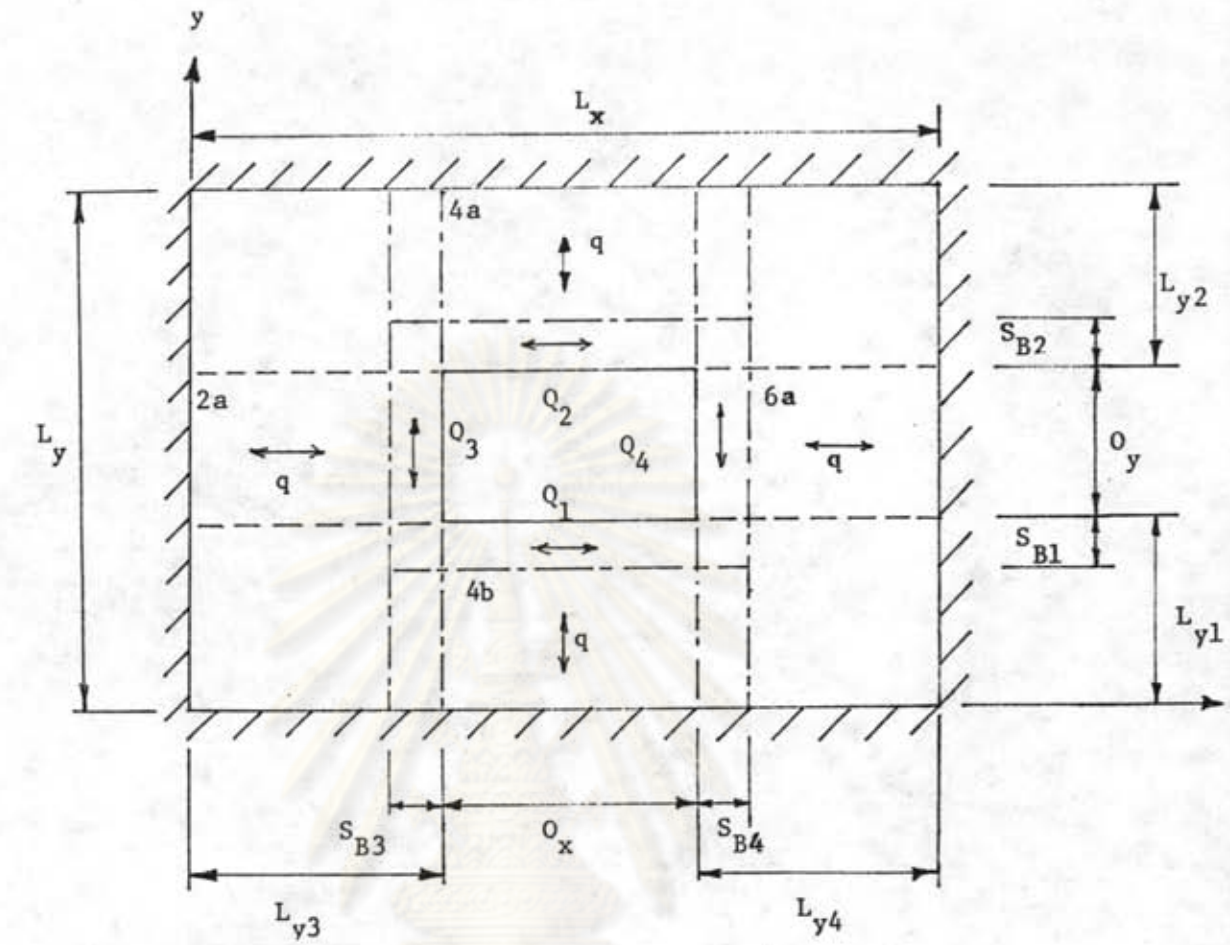
รูปที่ 3.2 แผ่นพื้นที่มีช่องเปิดที่กึ่งกลางแผ่นพื้น

สำหรับการหาค่า C และ D เมื่อทราบขนาดของสี่เหลี่ยมผืนผ้า L_x นั้น สามารถใช้ไมโครคอมพิวเตอร์หาค่า C และ D ที่ทำให้ปริมาตรของแรงตัดมีค่าน้อยที่สุด เมื่อทราบค่า C และ D แล้วจะสามารถหาค่า a และ b ดังนั้นแรงตัดลบและแรงตัดบวก ที่หน้าตัดต่าง ๆ ได้

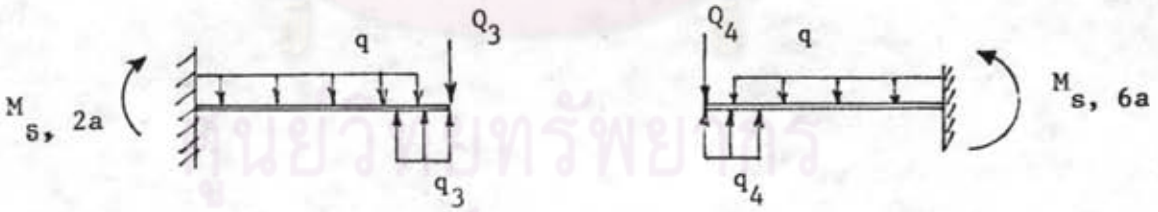


รูปที่ 3.3 แผ่นพื้นรูปที่ 3.2 เมื่อคิดว่าแผ่นพื้นยังไม่มีช่องเปิด

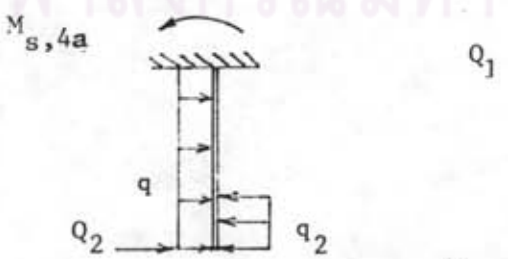
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(n) กรณี $O_x < L_x - 2B$ และ $O_y < L_y - 2B$

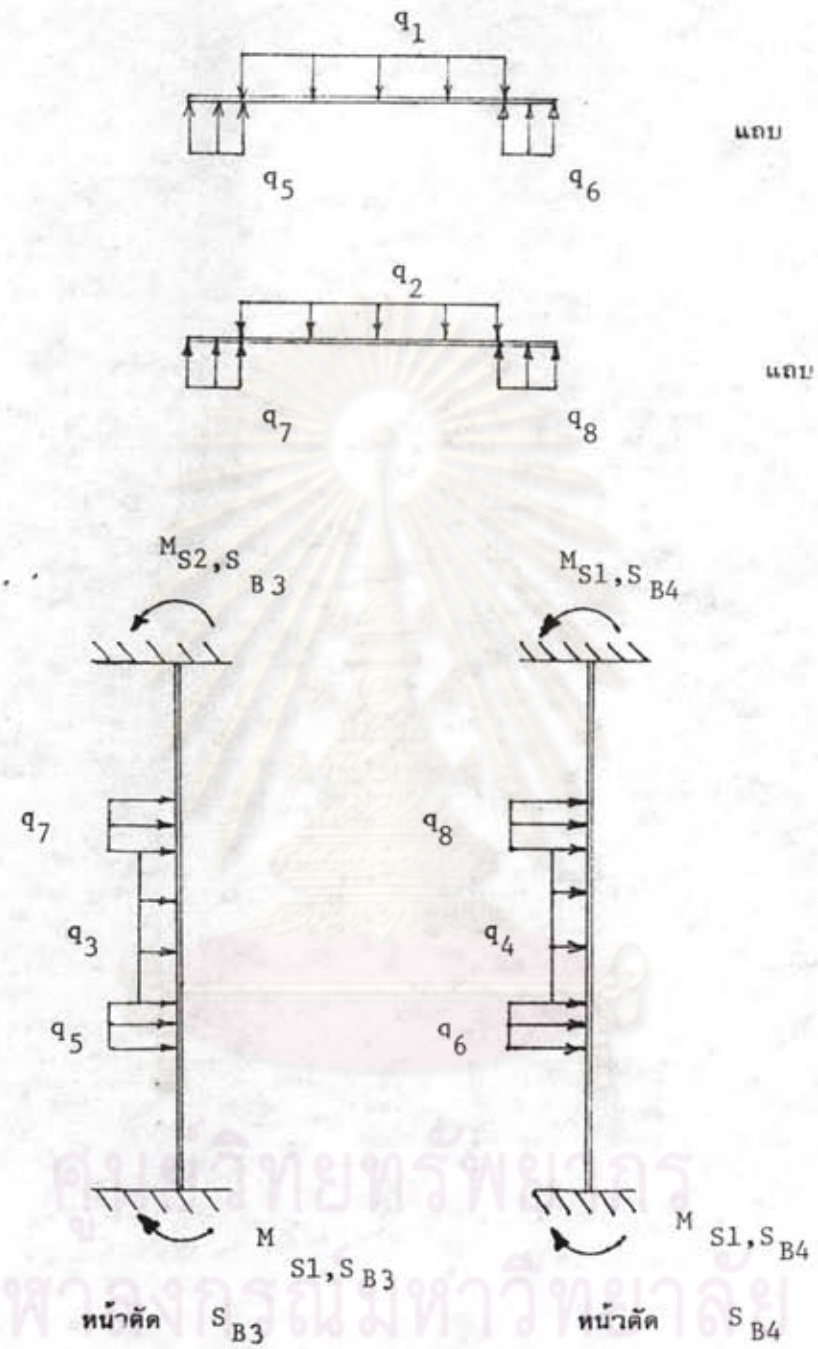


หน้าตัด 2a หน้าตัด 6a



หน้าตัด 4a หน้าตัด 4b

รูปที่ 3.4 แผ่นพื้นรูป 3.2 เมื่อคิดว่าแผ่นพื้นมีช่องเปิด



(ต่อ) รูปที่ 3.4 แผ่นพื้นที่รูปที่ 3.2 เมื่อคิดว่าแผ่นพื้นมีช่องเปิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณารูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีช่องเปิดอยู่ที่จุดศูนย์ถ่วงของแผ่นพื้น รับน้ำหนักแผ่กระจาย q และมีน้ำหนักแนวเส้นอยู่ที่ช่องเปิด Q_1 Q_2 Q_3 และ Q_4 ที่รองรับโดยรอบเป็นแบบยึดแน่น กำหนดให้แผ่นพื้นนี้มีแถบแข็งแกร่งรอบช่องเปิดมีขนาดความกว้าง S_{B1} S_{B2} S_{B3} และ S_{B4} ในลักษณะเช่นนี้จะแบ่งกรณีที่จะคิดเป็น 2 กรณีคือ

1. ให้คิดว่าแผ่นพื้นนั้น ยังไม่มีช่องเปิด หาตำแหน่งของเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่องและคำนวณหาแรงดัดในแถบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

2. คิดว่าแผ่นพื้นนั้นมีช่องเปิดและถ่ายน้ำหนักบรรทุกในแถบที่อยู่บริเวณช่องเปิด หาแรงดัดที่หน้าตัดต่าง ๆ ออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3.4

ดังนั้นแรงดัดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแผ่นพื้นจะเป็นผลรวมของแรงดัดจากกรณีที่ 1 กับกรณีที่ 2

เนื่องด้วยวิธีสดริปเป็นวิธีการที่ง่าย เมื่อคำนวณโดยใช้มือ และใช้สามัญสำนึกในการแบ่งแถบต่าง ๆ เช่น แถบแข็งแกร่ง เมื่อแบ่งแถบต่าง ๆ ขึ้นต่างกันก็จะเกิดน้ำหนักบรรทุกบนแถบไปหลายรูปแบบ ซึ่งถ้าใช้ความคิดของมนุษย์ก็จะไม่เป็นการยากในการคำนวณหาแรงปฏิกิริยาและแรงดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในแถบนั้น ๆ แต่เมื่อจะนำเอาวิธีสดริปไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้วิเคราะห์แผ่นพื้นที่มีช่องเปิดอยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ มีน้ำหนักแนวเส้นขนาดใด ๆ บริเวณรอบช่องเปิด มีขนาดของแถบแข็งแกร่งขนาดใด ๆ มีขนาดช่องเปิดขนาดใด ๆ และมีที่รองรับอย่างไรก็ได้นั้น เป็นการยุ่งยาก และจะต้องเปลืองความหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์มากมาย ซึ่งเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด 8 บิท และมีหน่วยความจำเพียง 48k ไม่สามารถจะทำแผ่นพื้นที่สมบูรณ์แบบอย่างนี้ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยลดการคำนวณด้วยมือ ลง ดังกล่าวคือ เมื่อพบแผ่นพื้นที่มีลักษณะใด ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถเรียกโปรแกรมต่าง ๆ ที่มีอยู่ออกมาใช้คำนวณหาแรงดัดที่เกิดขึ้นนั้นได้ แต่ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องเป็นผู้ป้อนขนาดน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ระยะทางของน้ำหนักบรรทุกตลอดจนลักษณะของที่รองรับในแถบต่าง ๆ ให้เครื่องช่วยในการคำนวณหาแรงดัดลบ แรงดัดบวก จุดดัดกลับให้ และนอกจากนี้ผู้ใช้จะต้องเป็นผู้รวมแรงดัดที่เกิดขึ้นในบริเวณต่าง ๆ และป้อนข้อมูลของแรงดัดหาปริมาณเหล็กเสริมเอง

ก็จะสามารถใช้วิเคราะห์แผ่นพื้นที่มีช่องเปิดชนิดใด ๆ ก็ได้ แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นผู้ใช้จะต้องเป็นผู้มีสามัญสำนึกเกี่ยวกับทฤษฎีสดริปนี้ดีพอสมควร สำหรับตัวอย่างการวิเคราะห์แผ่นพื้นชนิดนี้สามารถดูได้จากภาคผนวก

ปัจจุบันที่งานวิจัยนี้ได้สิ้นสุดลง ได้มีเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด 16 บิท ซึ่งมีหน่วยความจำมากขึ้น ผู้ที่สนใจวิธีสดริปอาจรวบรวมวิธีการข้างต้นใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำมากกว่า

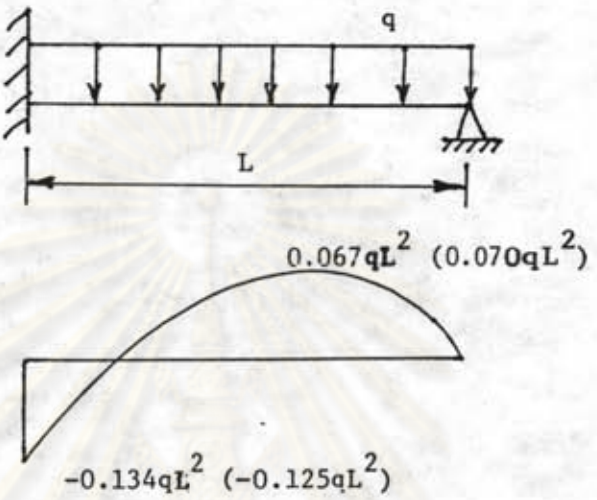
ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าการเขียนโปรแกรมโดยใช้วิธีสดริปให้มีความสมบูรณ์นั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้น เพื่อแสดงให้เห็นจริงว่ามีความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แม้จะเป็นแผ่นพื้นตามรูป 3.2 และมีข้อกำหนด ดังต่อไปนี้คือ

ก. ขนาดของช่องเปิดจะต้องไม่ใหญ่กว่า $(L_x - 2b) \times (L_y - 2b)$ ซึ่งกรณีนี้เป็นกรณีที่ใช้งานกันโดยทั่ว ๆ ไป โดยปกติค่า b ตามรูป 3.3 จะมีค่าประมาณ 25% ของด้านสั้นของแผ่นพื้น

ข. ขนาดความกว้างของแถบแข็งแกร่ง (S_{B1} S_{B2} S_{B3} และ S_{B4}) ต้องมีขนาดพอเหมาะผู้ใช้จะต้องป้อนเอง แต่จะต้องป้อนด้วยข้อมูลที่เป็นไปได้เท่านั้น มิฉะนั้นโปรแกรมจะทำงานผิดพลาด

ค. ในการหาตำแหน่งของเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่อง จะสมมุติให้อัตราส่วนของแรงดัดลบต่อแรงดัดบวกมีค่าเท่ากับ 2[17] สำหรับเหตุผลที่ใช้อัตราส่วนนี้ก็เพราะในแถบบางแถบ ยังไม่ทราบว่า น้ำหนักบรรทุกมีระยะเท่าไร และเมื่อทราบระยะในภายหลังสามารถปรับแก้ได้

ในงานวิจัยนี้ เส้นแสดงความไม่ต่อเนื่องจะแบ่งลักษณะการถ่ายน้ำหนักบรรทุก ซึ่งส่วนใหญ่แล้วให้ค่าอัตราส่วนของแรงดัดลบต่อแรงดัดบวกมีค่าใกล้เคียงกับ 2 จริง ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.5 จะไม่เป็นจริงในแถบบางแถบเท่านั้น ก็ผิดพลาดไปไม่มากนัก เช่นแถบที่รับน้ำหนักบรรทุกเต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ถ้าใช้การสมมุติให้แรงดัดลบต่อแรงดัดบวกมีค่าเท่ากับ 2 ค่าแรงดัดบวกจะผิดพลาดไปจากค่าจริง 7% และแรงดัดลบจะผิดพลาดไปเพียง 4% เท่านั้น



(ค่าในวงเล็บเป็นค่าที่แท้จริง)

รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าแรงดัดประมาณและค่าที่แท้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการวิเคราะห์หาแรงดัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแผ่นพื้นรูปที่ 3.2 นั้นจะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

จากรูปที่ 3.3 สามารถหาค่าแรงดัดบวกที่หน้าตัดต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$M^{+}_{1-1} = qb^2/12 \qquad (3.18)$$

$$M^{+}_{3-3} = qb^2/6 \qquad (3.19)$$

$$M^{+}_{3-3} = qb^2/12 \qquad (3.20)$$

$$M^{+}_{4-4} = qL^2_y/24 \qquad (3.21)$$

สำหรับค่าแรงดัดลบที่หน้าตัดต่าง ๆ จะมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดัดบวกที่หน้าตัดนั้น ๆ สำหรับจุดดัดกลับที่หน้าตัด 1-1 2-2 และ 3-3 จะอยู่ห่างออกมาจากที่รองรับ เท่ากับ $0.42b$ ส่วนที่หน้าตัด 4-4 จุดดัดกลับจะอยู่ห่างจากที่รองรับเท่ากับ $0.21L_y$

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าแรงในแถบ 2a แถบ 4a แถบ 4b และแถบ 6a นั้น ไม่สามารถถ่ายไปในทิศทางเดิมได้ เพราะมีช่องเปิดอยู่ ซึ่งเราสามารถใช้แถบแข็งแกร่งเข้าช่วยดังแสดงในรูป ดังนั้นลักษณะการถ่ายน้ำหนักบรรทุก และแรงดัดที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนไป พิจารณาที่หน้าตัด 4 ใช้สามารถสมดุลย์ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นพื้น สามารถหาค่า q_1 และ M_{s1} ได้ดังนี้

$$q_1 = \frac{3q L^4_{y1} + 8Q_1 L_{y1}}{S_{B1}\left(3(L_{y1} - S_{B1})^2 L_{y1} + 3(L_{y1} - S_{B1})L^2_{y1} + 3L^3_{y1} - (L_{y1} - S_{B1})^3\right)} \qquad (3.22)$$

$$M_{s,4b} = 0.5q_1 S_{B1}(L_{y1} + S_{B1}) - 0.5qL^2_{y1} - Q_1 L_{y1} \qquad (3.23)$$

สำหรับค่า q_2 และ $M_{s,4a}$ ที่หน้าตัด 4b นั้น สามารถหาค่าได้ เหมือน

สมการ (3.22) และ (3.23) ตามลำดับโดยเปลี่ยนค่า L_{y1} S_{B1} และ Q_1 ไปเป็น L_{y2} S_{B2} และ Q_2 ตามลำดับ

พิจารณาแถบ S_{B1} ซึ่งเป็นแถบที่รับน้ำหนักมาจากหน้าตัด 4a เท่ากับ q_1 สามารถหาค่าแรงปฏิกิริยา q_5 และ q_6 ได้ดังนี้

$$q_6 = \frac{q_2 O_x (O_x - S_{B3})}{S_{B3} (S_{B3}+2O_x+ S_{B4}} \qquad (3.24)$$

และ $$q_5 = \frac{q_1 O_x - q_6 S_{B4}}{S_{B3}} \qquad (3.25)$$

สำหรับค่าแรงตัดสูงสุดกลางช่วงก็สามารถหาได้โดยวิธีการง่าย ๆและได้ แรงตัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ

$$M_{max} = \frac{q_5^2 S_{B3}}{q1} \qquad (3.26)$$

สำหรับที่หน้าตัด S_{B2} ก็หาแรง q_7 และ q_8 เช่นเดียวกันที่หน้าตัด S_{B1}

สำหรับที่หน้าตัดอื่น ๆ จะไม่ขอกล่าวถึงในบทนี้ต่อไป สามารถใช้หลักการสมดุลย์ หาแรงปฏิกิริยาและแรงตัดสูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้

จะเห็นได้ว่าการเขียนโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์แผ่นพื้นที่มีช่องเปิด แม้จะเป็นรูปกรณีที่ง่าย ๆ แต่การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์แผ่นพื้นชนิดนี้ได้ ไม่ใช่เรื่องง่าย ต้องอาศัยหน่วยความจำมากมาย และจะได้เป็นบางกรณีเท่านั้นไม่เหมาะสมนัก

ในงานวิจัยนี้จึงได้เขียนโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์แรงในแถบแต่ละแถบในแผ่นพื้นออกมาผู้ใช้ สามารถใช้โปรแกรมวิเคราะห์หาแรงต่าง ๆ ในแผ่นพื้นที่มีรูปร่างและช่องเปิดอยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ เพียงแต่ผู้ใช้จะต้องเป็นคนป้อนข้อมูลให้เครื่องตลอดเวลานั่นเอง ซึ่งจะแสดงตัวอย่างในภาคผนวก

สำหรับแผ่นพื้นที่มีรูปร่างอย่างอื่นให้ดูที่ภาคผนวกประกอบกับทฤษฎีสตริปในบทที่ผ่านมา

3.4 การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตามที่ได้กล่าวแล้วว่า ทฤษฎีสตริปนั้น ได้ใช้กันมานาน โดยวิศวกรที่มีสามัญสำนึกและ Hillerborg (6) ซึ่งเป็นชาวสวีเดนได้เป็นผู้รวบรวมวิธีการนี้ให้เป็นแบบแผนขึ้น และได้แพร่หลายไปในประเทศต่าง ๆ ปัจจุบันนี้ มาตรฐานการออกแบบ ACI 318 - 1983 (2) ได้กล่าวไว้ว่า การออกแบบแผ่นพื้นจะใช้วิธีการใดก็ได้ ถ้าแสดงให้เห็นได้ว่ากำลังที่ใช้ในการออกแบบมีค่าอย่างน้อยเท่ากับกำลังที่ต้องการ จากคำกล่าวข้างต้นนี้ แสดงว่าสามารถใช้วิธีสตริปในการหาแรงดัด ซึ่งมีค่าอย่างน้อยเท่ากับแรงดัดที่ต้องการ มาทำการออกแบบแผ่นพื้นได้นั่นเอง

สำหรับหัวข้อนี้ จะขอกล่าวถึงข้อกำหนดเกี่ยวกับคอนกรีตเสริมเหล็กตามทฤษฎีประลัยเสียก่อน ซึ่งมีดังต่อไปนี้

3.4.1 กำลังและสภาพการใช้งาน

ปัญหาการออกแบบแผ่นพื้นโดยทฤษฎีสตริป คือ ทฤษฎีนี้ สามารถวิเคราะห์หาแรงดัดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ แต่ไม่ได้คำนึงถึงระยะโก่งตัว และรอยแตกร้าวของแผ่นพื้น การแก้ปัญหาเกี่ยวกับสภาพการใช้งานดังกล่าวจึงต้องทำโดยการออกแบบตามข้อกำหนดที่มาตรฐานการออกแบบได้บัญญัติไว้

3.4.1.1 การจัดน้ำหนักบรรทุกและการหาปริมาตรของเหล็กเสริม

ในการออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อทราบขนาด รูปทรงทางเรขาคณิต เงื่อนไขที่ขอบของที่รองรับ และน้ำหนักใช้งานแล้วจะสามารถหาน้ำหนักในแนวดิ่งที่จะนำไปออกแบบ ซึ่งมาตรฐานการออกแบบ ACI 1983 (2) ได้กำหนดไว้ดังนี้คือ

$$W_u = 1.4D + 1.7L \qquad (3.27)$$

เมื่อ D คือน้ำหนักบรรทุกถาวร (Dead Load) และ L คือน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

เมื่อทราบน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดแล้วจะทำการวิเคราะห์หาแรงดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น และสามารถหาปริมาณเหล็กเสริมต้านทานแรงดัดประลัย (M_u) ต่อหน่วยความกว้างของแผ่นพื้น ใช้สมการออกแบบเหล็กเสริมจากเอกสารอ้างอิง (3, 4)

$$M_u = \gamma A_s f_y \left(d - 0.59 A_s \frac{f_y}{f'_c}\right) \qquad (3.28)$$

หรือ

$$A_s = \frac{f'_c d}{1.18 f_y} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2.873 (f'_c d)^2}{f_y^2} - \frac{6.78 M_u f'_c}{\gamma f_y^2}} \qquad (3.29)$$

เมื่อ γ คือตัวลดค่ากำลังรับแรงดัดจากมาตรฐานออกแบบ ACI 1983(2) มีค่าเท่ากับ 0.9, A_s คือเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อหน่วยความกว้าง f_y คือกำลังที่จุดคลากของเหล็กเสริม f'_c คือกำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน และ d คือ ความลึกประสิทธิผลจากผิวรับแรงอัดถึงเหล็กเสริมรับแรงดึง

สำหรับปัญหาการโก่งตัวของแผ่นพื้น ถ้าไม่คำนวณตรวจสอบในระหว่างการออกแบบให้ใช้ความหนาของแผ่นพื้นอย่างน้อยเท่ากับที่มาตรฐานการออกแบบ ACI 1983 ระบุไว้

3.4.1.2 การเสริมเหล็ก

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดที่จะใช้ในแผ่นพื้นจะต้องเท่ากับเหล็กอุณหภูมิและระยะห่างมากสุดของเหล็กเสริมจะต้องไม่เกินค่าที่ระบุไว้ในมาตรฐานการออกแบบของ วสท. (1) ได้กำหนดไว้ดังนี้

$A_s = 0.0025bd$ สำหรับเหล็กเสริมกลม (3.30)

$A_s = 0.0020bd$ สำหรับเหล็กเสริมข้ออ้อย (3.31)

สำหรับปริมาณเหล็กเสริมสูงสุดที่ยังคงทำให้แผ่นพื้นมีความเหนียวพอเพียงนั้น ตามเอกสารอ้างอิง (26, 27) ได้แนะนำว่า ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงสูงสุดในการออกแบบโดยทฤษฎีไม่เกิน 0.5 pb โดยที่ pb คือปริมาณเหล็กเสริมที่สภาวะสมดุลย์ของการประลัยและมีค่า

$$pb = 0.85\, k_1 \frac{f'_c}{f_y} \left[\frac{6117}{6117 + f_y}\right] \qquad (3.32)$$

โดยที่ $k_1 = 0.85$ เมื่อ $f'_c \leq 280$ ksc และลดลงทุก ๆ 0.5 เมื่อ f'_c เพิ่มขึ้นทุก ๆ 70 ksc

ในกรณีแผ่นพื้นมีช่องเปิด การเสริมเหล็กพิเศษรอบช่องเปิดที่ผิวบนและผิวล่างของแผ่นพื้น ให้ใช้ปริมาณเหล็กเสริมเท่ากับเหล็กที่ถูกตัดหายไปในช่องเปิดตามเอกสารอ้างอิง (2)

3.4.2 ความยาวของเหล็กเสริมรับแรงดัดลบ

ในทางปฏิบัติ เพื่อให้ประหยัดเหล็กเสริมรับแรงดัดลบแล้ว จะใช้การหยุดเหล็กบนห่างจากที่รองรับ สำหรับวิธีสตริปเราสามารถหาตำแหน่งของจุดดัดกลับได้โดยไม่ยากนัก ระยะระหว่างจุดรองรับจนถึงจุดดัดกลับคือความยาวของเหล็กเสริมรับแรงดัดลบ หลังจากที่ได้ความยาวของเหล็กเสริมบนแล้ว จะต้องเพิ่มความยาวขึ้นอีกเท่ากับ 12 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเสริม หรือระยะความลึก ประสิทธิผล โดยเลือกใช้ค่าที่มากกว่า ตามที่มาตรฐาน ACI 1983 ระบุไว้

3.4.3 ความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้น เมื่อไม่คำนึงถึงผลของการโก่งตัว

สำหรับแผ่นพื้นสองทางคอนกรีตเสริมเหล็ก มาตรฐาน ACI 1983 ได้กำหนดความหนาต่ำสุดของแผ่นพื้นไว้ดังนี้

$$h = \frac{l_n (800 + 0.0712 f_y)}{36000 + 5000\beta \left[\alpha_m - 0.5(1 - \beta_s)(1 + \frac{1}{\beta})\right]} \qquad (3.33)$$

แต่ต้องไม่น้อยกว่า

$$h = \frac{l_n (800 + 0.0712 f_y)}{36000 + 5000\beta (1 + \beta_s)} \qquad (3.34)$$

และความหนาจะต้องไม่มากกว่า

$$h = \frac{l_n (800 + 0.0712 f_y)}{36000} \qquad (3.35)$$

โดยที่ l_n คือความยาวสุทธิของแผ่นพื้นด้านยาว β คืออัตราส่วนของด้านยาวสุทธิต่อด้านสั้นสุทธิ β_s คืออัตราส่วนของด้านที่ต่อเนื่องต่อเส้นรอบรูปของแผ่นพื้น และ α_m คือค่าเฉลี่ยของ α ทั้งสี่ด้าน ซึ่ง α มีค่าดังนี้คือ

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \qquad (3.36)$$

โดยที่ E_{cb} คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของคานคอนกรีต E_{cs} คือโมดูลัสยืดหยุ่นของพื้นคอนกรีต I_b คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของคาน และ I_s คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของแผ่นพื้น

อย่างไรก็ตามความหนาของแผ่นพื้นจะต้องไม่น้อยกว่าค่าต่อไปนี้

สำหรับแผ่นพื้นไร้คาน ที่ไม่มีแป้นหัวเสา ให้ใช้ 12.5 เซนติเมตร

สำหรับแผ่นพื้นไร้คานที่มีแป้นหัวเสา ใช้ใช้ 10.0 เซนติเมตร

สำหรับแผ่นพื้นที่มีคานโดยรอบสี่ด้านที่มีค่า α_m อย่างน้อยเท่ากับ 2.0 ให้ใช้ 9 เซนติเมตร

3.4.4 ระยะเรียงเหล็กเสริมในแผ่นพื้น

สำหรับระยะเรียงของเหล็กเสริมในแผ่นพื้นจะต้องไม่เกิน 2 เท่าของความหนาของแผ่นพื้น หรือไม่เกิน 30 เซนติเมตร

สำหรับงานวิจัยนี้ ไม่ได้คำนึงถึงระยะเรียงของเหล็กเสริม ลงในตัวโปรแกรม โดยผู้ใช้เป็นผู้เลือกเหล็กเสริมและระยะเรียงเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในงานวิจัยนี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นเป็นภาษาแอปเปิลซอฟท์เบสิค ซึ่งเป็นภาษาที่ง่ายต่อการใช้งาน อีกทั้งมีความสามารถทางด้านกราฟฟิคสูง มีหน่วยความจำอย่างต่ำ 48 เคไบท์ แม้ปัจจุบันจะมีไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงกว่า แต่ก็ยังมีราคาค่อนข้างจะแพงจะมีอยู่ตามหน่วยงาน สำนักงานต่าง ๆ เท่านั้น

ในโปรแกรมที่ทำงานวิจัยจะแบ่งแยกออกเป็นส่วน ๆ ด้วยกันแบ่งเป็น 3 กลุ่มได้ดังนี้

1. โปรแกรมออกแบบแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมที่รองรับเป็นแบบยึดหมุนและ 3 แบบยึดแน่น 1 ชุด

2. โปรแกรมออกแบบแผ่นพื้นเฉพาะกรณี

3. โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์หาแรงตัดในตำแหน่งต่าง ๆ ในแผ่นพื้น หรือโปรแกรมคำนวณหาเล็กเสริม คำนวณหาเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่อง

การทำงานของโปรแกรมของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมที่ไม่มีช่องเปิดและมีที่รองรับเป็นแบบยึดหมุนหรือยึดแน่น จะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ ส่วนมีลักษณะเกี่ยวโยงกันดังแสดงในแผนภูมิรูปที่ 3.1 เนื่องจากลักษณะของปัญหามีข้อมูลและผลการคำนวณน้อย ดังนั้นจึงไม่มีการเก็บข้อมูลและผลการคำนวณเข้าแผ่นจานแม่เหล็ก แต่จะใช้วิธีการเรียกส่วนของโปรแกรมที่เหลือจากแผ่นจานแม่เหล็กเข้ามาคำนวณข้อมูลในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์

การทำงานของโปรแกรม เมื่อสั่งให้ส่วนของโปรแกรม STRIP HEADING ซึ่งเป็นโปรแกรมส่วนที่ช่วยนำ ตารางรูปร่าง (Shape Table) ของตัวอักษรเข้ามาในหน่วยความจำของเครื่อง และเรียกโปรแกรม STRIP INPUT เข้ามาในหน่วยความจำของเครื่อง ซึ่งตัวโปรแกรม STRIP INPUT นี้จะเป็นส่วนถามข้อมูลของแผ่นพื้นและสร้างรูปภาพขึ้นบนจอ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้โดยปราศจากคู่มือการใช้โปรแกรมเลยก็ได้ และตัวโปรแกรมนี้จะยังคงอยู่ในหน่วยความจำของตัวเครื่องตลอดเวลา และคอยเรียกโปรแกรมส่วนที่ทำงานต่อไปเข้ามาแทนที่โปรแกรมส่วนที่ไม่ใช้งานแล้ว เพื่อประหยัดหน่วยความจำของตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนของโปรแกรมชุดนี้จะประกอบไปด้วย.

STRIP HEADING โปรแกรมนี้ทำหน้าที่อ่านตารางรูปภาพจากแผ่นจานแม่เหล็กเข้าเก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนหนึ่ง ซึ่งจะไม่ถูกรบกวนโดยโปรแกรมและเรียกโปรแกรม STRIP INPUT เข้ามาในหน่วยความจำแทน

STRIP INPUT โปรแกรมนี้ทำหน้าที่สร้างภาพ และถามตอบข้อมูลกับผู้ใช้ตลอดเวลา และเป็นโปรแกรมหลักอยู่ในหน่วยความจำตลอดเวลา

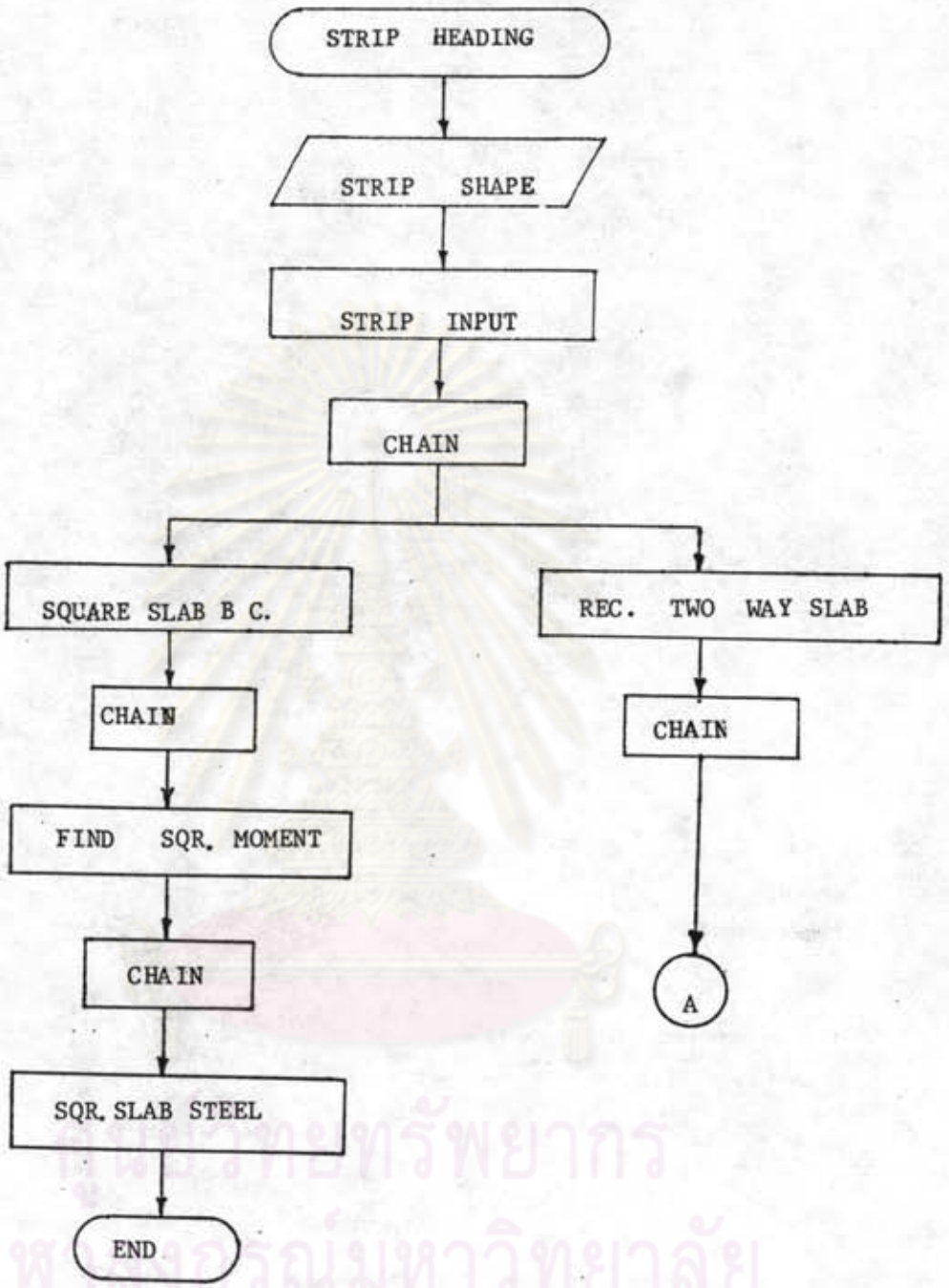
CHAIN โปรแกรมส่วนนี้ทำหน้าที่เรียกส่วนของโปรแกรมจากแผ่นแม่เหล็กเข้ามาทำงานต่อจากส่วนของโปรแกรมเดิม ในหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ โดยไม่ทำให้ข้อมูลเปลี่ยนแปลง โปรแกรมนี้จะใช้ทุกครั้งเมื่อมีการเรียกโปรแกรมย่อยเข้าในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์

STRIP SHAPE เป็นตารางรูปร่างของตัวอักษรและสัญญลักษณ์ที่ใช้ในทางวิศวกรรม

SQUARE SLAB BC. โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่แยกชนิดของแผ่นพื้นที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลที่ขอบแผ่นพื้นออกและคำนวณหาเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่องที่ทำให้ได้ปริมาตรของแรงตัดน้อยที่สุด และสร้างภาพของเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่อง และเมื่อสิ้นสุดการทำงานลงจะเรียกโปรแกรมคำนวณเหล็กเสริมเข้ามาแทนที่ตัวเอง

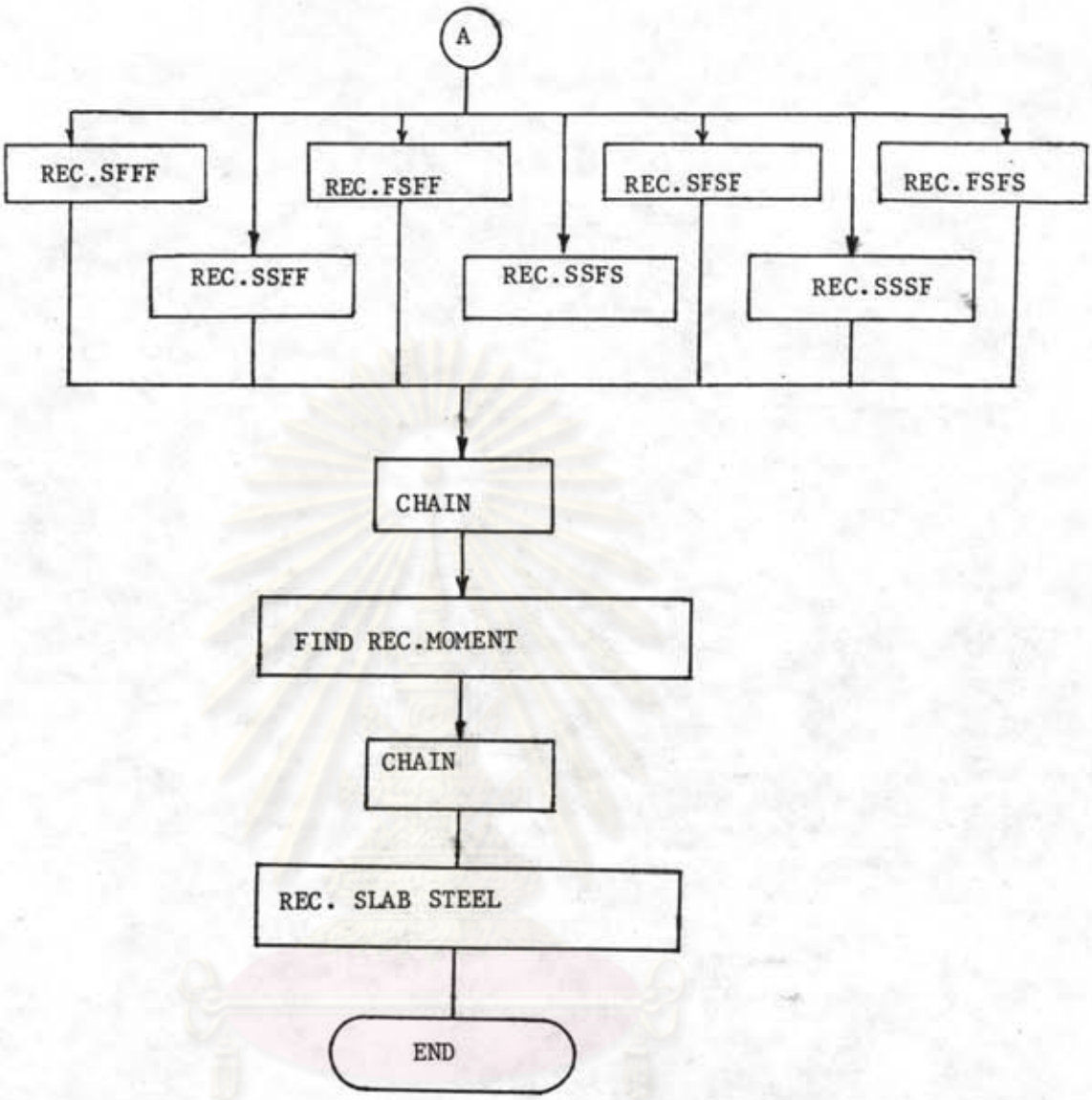
REC. TWO WAY SLAB BC. เป็นโปรแกรมที่ทำงานคล้ายคลึงกับโปรแกรม SQUARE SLAB BC. แต่กรณีของแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีมากกว่าดังนั้น โปรแกรมนี้จะเรียกโปรแกรมย่อยตามชนิดของแผ่นพื้นเพียง 1 ชนิด เข้ามาในหน่วยความจำของตัวเครื่อง โดยที่โปรแกรมนี้ยังคงอยู่ในตัวเครื่องด้วยและ เมื่อทำงานสิ้นสุดลงก็จะเรียกโปรแกรมคำนวณหาแรงตัดเข้ามาแทนที่

REC. FSFS REC. SFFF ฯลฯ เป็นโปรแกรมย่อยของโปรแกรม REC. TWO WAY SLAB BC. โดยจะถูกเรียกเข้าไปต่อจากหน่วยความจำของโปรแกรม TWO WAY SLAB BC. เพียงตัวเดียวเท่านั้น โปรแกรมย่อยนี้ ทำการคำนวณหาเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่องที่ให้ปริมาตรของแรงตัดออกมาต่ำที่สุด



รูปที่ 3.6 แผนการทำงานของโปรแกรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ต่อ) รูปที่ 3.6 แผนการทำงานโปรแกรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FIND REC. STEEL และ FIND REC. MOMENT เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณแรงดัดและจุดดัดกลับในแผ่นพื้นก่อนที่จะไปหาเหล็กเสริมต่อไป

FIND REC. STEEL และ FIND SQR. STEEL เป็นโปรแกรมท้ายสุดจะคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมและหาความยาวของเหล็กเสริมมาให้

สำหรับโปรแกรมย่อยที่จะช่วยในการคำนวณแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีช่องเปิดจะต้องอาศัยโปรแกรมจากชุดที่ 1 คือ โปรแกรมที่แผ่นพื้นยังไม่มีช่องเปิดและโปรแกรมย่อยต่อไปนี้มาประกอบกันโดยผู้ออกแบบเป็นผู้ประมวลผลด้วยตัวเองเป็นผลลัพธ์สุทธิ โปรแกรมช่วยดังกล่าวนี้จะประกอบด้วยโปรแกรมดังต่อไปนี้

MENU BEAM TYPE 1-6 ซึ่งเป็นโปรแกรมเชื่อมโยงโปรแกรมย่อยต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมย่อย ๆ ดังต่อไปนี้

BEAM TYPE 1 เป็นโปรแกรมที่ช่วยคำนวณหาแรงดัดและแรงปฏิกิริยาในแถบของแผ่นพื้นที่มีลักษณะดังรูปที่ 4.2ก.

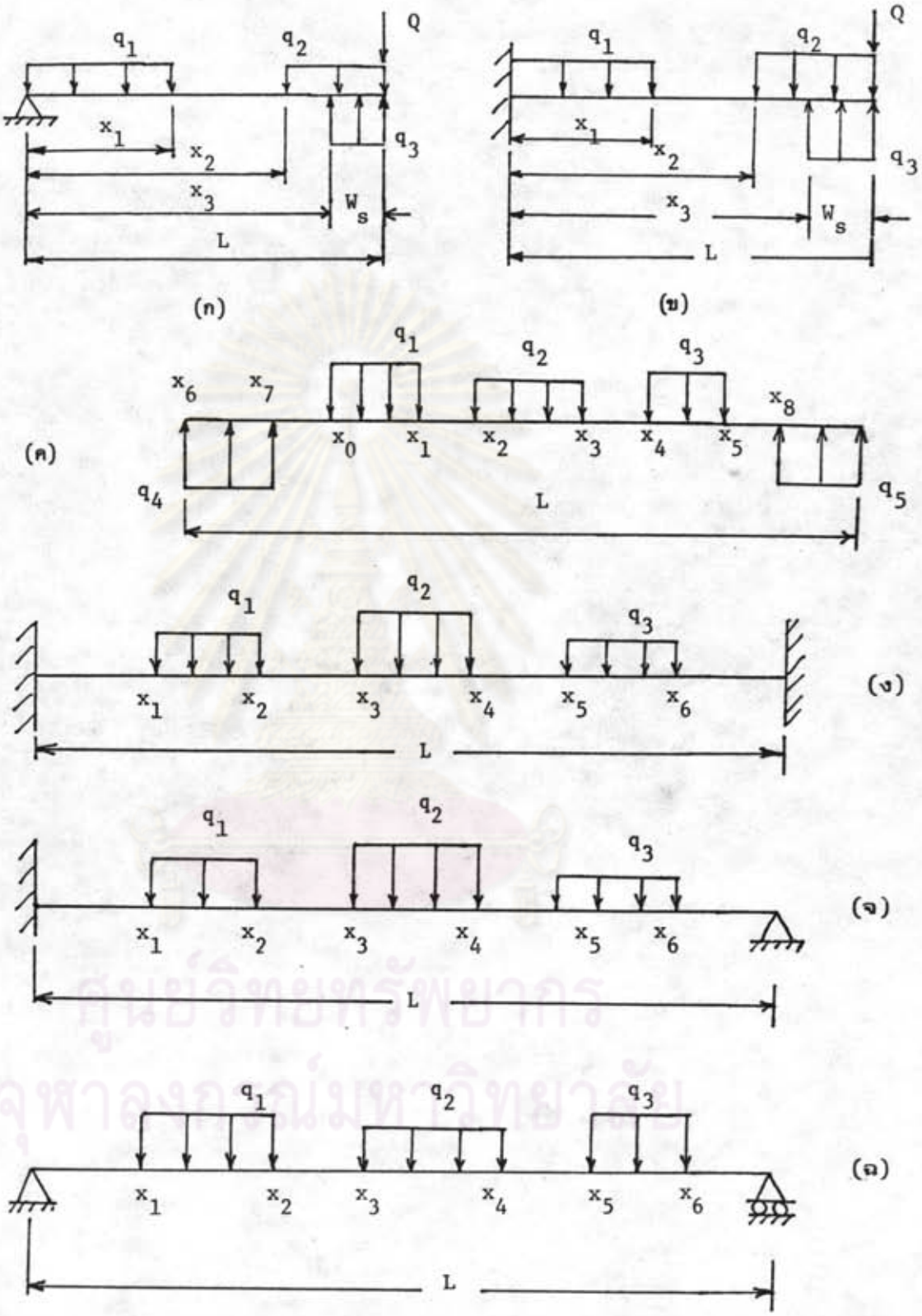
BEAM TYPE อื่น ๆ ตั้งชนิดที่ 2 ถึงชนิดที่ 6 ได้แสดงไว้ในรูป 4.2ข-ฉ ตามลำดับ

DESIGN SKEW SLAB เป็นโปรแกรมออกแบบแผ่นพื้นที่ไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและด้านที่เอียงทำมุมกับที่รองรับเป็นขอบอิสระดังที่กล่าวและวิเคราะห์ไว้แล้วในหัวข้อ 2.6

ELEMENT TYPE 3 เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์และออกแบบชิ้นส่วนที่มีที่รองรับที่มุมของชิ้นส่วนที่มุมใดมุมหนึ่ง

DISC. LINE IN FLAT SLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของเส้นแสดงความไม่ต่อเนื่อง เพื่อแบ่งแผ่นพื้นไว้คานออกเป็นชิ้นส่วนประเภทที่ 3 หลาย ๆ ชิ้น และนำไปวิเคราะห์หาแรงดัดและเหล็กเสริมต่อไปโดยโปรแกรม ELEMENT TYPE 3

REC. WITH ONE FREE EDGE เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์หาแรงดัดและออกแบบแผ่นพื้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขอบอิสระเพียง 1 ขอบ ส่วนขอบที่เหลือเป็นแบบยึดแน่น



รูปที่ 3.7 ชนิดของแถบและน้ำหนักที่มีโอกาสจะเกิดขึ้นในวิธีสดริป เมื่อแผ่นพื้นมีช่องเปิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย