บทที่ 5

การศึกษาโครงอาคาร

5.1 บทนำ

การศึกษาจะใช้วิธีการวิเคราะห์ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 2 และบทที่ 3 เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบของคุณสมบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีต่อพฤติกรรม และกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้การกระทำของน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลานาน ๆ โดยกำหนดว่าโครงอาคารที่จะศึกษาเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เสาชั้นบน และชั้นล่างของเสาต้นที่กำลังพิจารณาจะต้องมีขนาดเท่ากัน และคานที่เชื่อมต่อเสาจะต้องมีความยาว และหน้าตัดเท่ากันตลอดทุกชั้นเสา และคานมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมรับแรงดึง และเหล็กเสริมรับแรงอัดในปริมาณเท่ากัน เหล็กเสริมวางเป็นชั้นเดียว (Single Layer) ทั้งสองด้าน และมีปริมาณเหล็กเสริมคงที่ตลอดความยาวคาน

5.2 ขอบเขตของการศึกษา

โครงอาคารที่ทำการศึกษามีจำนวนทั้งสิ้น 504 โครง แบ่งออกเป็น (1) โครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง รับน้ำหนักในลักษณะที่ทำให้เสาโก่งแบบโค้งเดียวจำนวน 252 โครง ในจำนวนนี้ให้รับน้ำหนักเป็นระยะเวลาสั้นจำนวน 108 โครง ให้รับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่าเป็น 40% และ 60% ของกำลังรับน้ำหนักระยะเวลาสั้นของโครงที่มีลักษณะเดียวกัน โดยมีระยะเวลาในการรับน้ำหนักบรรทุกค้าง 25 ปี เป็นจำนวนอย่างละ 72 โครง และ (2) โครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง จำนวน 252 โครงนั้นจะแบ่งการวิเคราะห์เช่นเดียวกับโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ถ้าการวิบัติเกิดขึ้นระหว่างการรับน้ำหนักบรรทุกค้างให้ถือว่าน้ำหนักบรรทุกนั้นเป็นกำลังรับน้ำหนักบรรทุกค้าง หากว่าภายหลังการบรรทุกค้างเป็นเวลา 25 ปีแล้วไม่เกิดการวิบัติ ให้เพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วจนกระทั่งวิบัติ การวิบัติของเสาเกิดขึ้นเมื่อค่าโมเมนต์ในเสา หรือคานมีค่ามากกว่าค่าโมเมนต์ต้านทานของหน้าตัดที่จะรับได้

5.3 การเรียกชื่อโครงอาคาร

เนื่องจากโครงอาคารที่วิเคราะห์มีจำนวนถึง 504 โครง จึงจำเป็นต้องมีวิธีการเรียกชื่อโครงอาคารแบบมีระบบ กล่าวคือ ชื่อโครงอาคารแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังตัวอย่างต่อไปนี้ คือ

BF30 - B1CH - SL

หมายถึงโครงอาคารที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง โดยมีอัตราส่วนความชะลูดของเสา (h/T) เป็น 30 อัตราส่วนโมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดเสาต่อคานเป็น 1 คานมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกทั้งหมด (b/T) เป็น 3/8 คานมีปริมาณของเหล็กเสริมรับแรงดึง (ρ) เป็น 3.72% และโครงอาคารนี้รับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลาสั้น โดยสามารถอธิบายแยกเป็นส่วน ๆ ได้ดังนี้คือ

ส่วนที่ 1 แสดงลักษณะของโครงอาคาร

- ตัวอักษร 2 ตัวแรกแสดงลักษณะของโครงอาคาร
  - BF หมายถึง โครงอาคารที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง
  - UF หมายถึง โครงอาคารที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง
- ตัวเลข 2 ตัวถัดมา คืออัตราส่วนความชะลูดของเสา(h/T) ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ 10, 20, 30 และ 40

ส่วนที่ 2 แสดงคุณสมบัติของคานที่เชื่อมต่อกับเสา

- อักษร B เป็นตัวย่อแทนคาน (Beam)
- ตัวเลขที่ตามมาหมายถึง อัตราส่วนโมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดเสาต่อคานคิดโดยวิธีหน้าตัดแปลง (Transformed Section) อัตราส่วนที่ใช้วิเคราะห์ คือ 1, 2, 3 และ 5
- อักษร 1 ตัวที่ตามมา (ตัวที่สาม) คืออัตราส่วนของความกว้างต่อความลึกทั้งหมดของคาน (b/T)
  - A หมายถึง b/T = 1
  - B หมายถึง b/T = 1/2
  - C หมายถึง b/T = 3/8

- ตัวอักษรอีก 1 ตัวถัดมา หมายถึงปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง (ρ) ในคาน

H (High) คานมีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 3.72%

M (Medium) คานมีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 1.80%

L (Low) คานมีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 0.50%

ส่วนที่ 3 แสดงถึงลักษณะของน้ำหนักบรรทุก มี 3 แบบ คือ

SL หมายถึง รับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลาสั้น

40 หมายถึง รับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น

60 หมายถึง รับน้ำหนักบรรทุกค้าง 60% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น

5.4 รายละเอียดหน้าตัดของเสา และคานที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์กำหนดให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดประลัย(f'_c) เท่ากับ 280 กก./ตร.ซม. เหล็กเสริมมีจุดคลาก(f_y) ที่ 2800 กก./ตร.ซม. และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 2.04×10^6 กก./ตร.ซม.

รายละเอียดของหน้าตัดเสา

เสามีขนาดหน้าตัดเหมือนกันในทุกโครง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.1 (ก) กล่าวคือ มีความกว้าง 50 ซม. ความลึกทั้งหมด 25 ซม. ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด 12.5 ตร.ซม. และปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง 12.5 ตร.ซม. โดยสมมติให้วางแบบชั้นเดียวทั้งสองด้าน ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงอัด และเหล็กเสริมรับแรงดึงเป็น 17.5 ซม. ความสามารถต้านทานโมเมนต์และสติฟเนสของหน้าตัด EI ที่ระดับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.1

รายละเอียดของหน้าตัดคาน

หน้าตัดคานที่ใช้ในการวิเคราะห์มีทั้งสิ้น 36 หน้าตัด มีรายละเอียดดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 หน้าตัดคานแบ่งตามสัดส่วนสติฟเนสของเสาต่อคานได้ 4 ชุด คือ 1,2,3,และ 5 ซึ่งคิดโดยวิธีหน้าตัดแปลง ในคานแต่ละชุดสามารถแบ่งตามปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ตามมาตรฐาน

การออกแบบอาคาร ACI 318-83 ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก คานที่มีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงสูง กำหนดจาก $0.75\rho_b$ ซึ่งให้ค่า $\rho = 0.0372$ กลุ่มที่สอง คานที่มีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงปานกลาง กำหนดจากพิกัดควบคุมการโก่งตัวของคาน $0.18\frac{f'_c}{f_y}$ ซึ่งให้ค่า $\rho = 0.018$ กลุ่มที่สาม คานที่มีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงต่ำ กำหนดจากค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture) $14/f_y$ ซึ่งให้ค่า $\rho = 0.005$ คานแต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็น 3 แบบตามอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกทั้งหมดของคาน (b/T) คือ แบบ A มีอัตราส่วน b/T = 1 แบบ B มีอัตราส่วน b/T = 1/2 แบบ C มีอัตราส่วน b/T = 3/8 แบบจำลองของคานได้แสดงไว้ในรูป 5.1 (ข) การเรียกชื่อคานมีลักษณะเดียวกับการเรียกชื่อโครงส่วนที่สอง ดังกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.3

5.5 การวิเคราะห์เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง

กำหนดให้โครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างมีการจัดน้ำหนักบรรทุกจรแบบสลับเป็นตาหมากรุก (Checker board) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.2 (ก) ซึ่งการจัดน้ำหนักจรแบบนี้จะให้ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดในคาน และยังผลให้เสาโก่งแบบโค้งเดียว Furlong และFerguson (31) ได้เสนอให้วิเคราะห์โครงอาคารที่รับน้ำหนักในลักษณะนี้ โดยวิธีการรวมผลส่วนย่อย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.2 (ข) ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ในที่นี้จะใช้แบบจำลองแบบนี้ รายละเอียดดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.3

5.5.1 รายละเอียดโครง

จะทำการวิเคราะห์โครงลักษณะแบบในรูปที่ 5.3 จำนวน 252 โครง เป็นโครงที่รับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นจำนวน 108 โครง และรับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่าเป็น 40% และ 60% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นของโครงที่มีลักษณะเหมือนกัน จำนวนอย่างละ 72 โครง เวลาที่ใช้ในการบรรทุกค้าง 25 ปี ถ้าการวิบัติไม่เกิดขึ้นภายหลังการบรรทุกค้าง ให้เพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วจนกระทั่งโครงเกิดการวิบัติ คุณสมบัติของโครงที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 การเรียกชื่อโครงตลอดจนรายละเอียดของคานและเสา ได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 5.3 และ 5.4 ระยะเฉศูนย์ที่ระบุ (Nominal Eccentricity) ที่ปลายเสาวิเคราะห์โครงสมมุติให้เป็นโครงสร้างอีลาสติก โดยวิธีกระจายโมเมนต์ (Moment Distribution) โดยไม่คิดถึงผลของการโก่งตัว และพยายามจัดอัตราส่วนของแรงที่กระทำที่

คาน และแรงที่กระทำที่เสา ρ_b/ρ_c ให้เปลี่ยนไป โดยการให้ความยาว L' คงที่ จนกระทั่งได้ระยะเฉศูนย์ที่ระบุตามต้องการ กำหนดให้ความเฉศูนย์ e/T ที่ระบุเป็น 0.91, 0.2,0.3 และ 0.4 สำหรับเสาที่มีอัตราส่วนความชะลูด h/T เป็น 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ สำหรับค่าความเฉศูนย์ที่ระบุ 0.091 นี้คิดจากค่าระยะเฉศูนย์ต่ำสุดตามขนาดของเสาซึ่งกำหนดโดยมาตรฐานการออกแบบอาคาร ACI 318-83 คือ $e_{min} = (0.6 + 0.03h)$

เนื่องจากโครงดังแสดงในรูปที่ 5.3 มีสมมาตร 2 แกน ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาโครงเพียงหนึ่งในสี่แทนการวิเคราะห์ทั้งโครง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยการแบ่งเสาออกเป็น 5 ชิ้นส่วนย่อยเท่า ๆ กัน และแบ่งคานออกเป็น 2 ส่วน คือ แบ่งคานช่วงที่อยู่ระหว่างแรงที่กระทำที่เสา กับแรงที่กระทำในคาน ออกเป็น 4 ชิ้นส่วนย่อยเท่า ๆ กัน และคานส่วนที่อยู่กลางคานออกเป็น 2 ชิ้นส่วนย่อยเท่า ๆ กัน ฐานรองรับที่กลางเสา และคานนั้นให้ไว้ในลักษณะที่ทำให้เกิดสมมาตร 2 แกนตามต้องการ

5.5.2 ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง แสดงไว้ในรูปของกราฟ และตาราง ส่วนผลการวิเคราะห์ที่เป็นตัวเลขให้ไว้ในภาคผนวก ข.1 ผลกระทบของคุณสมบัติของคานที่มีต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง แสดงไว้ในรูปของ

(1) กราฟแสดงพฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ของเสา และ

(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนรูป

(3) ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา

5.5.2.1 พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์

เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ของเสาซึ่งโก่งแบบโค้งเดียวในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 - 5.40 ซึ่งในรูปเหล่านี้แต่ละรูปจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ของเสาต่อ โครงแต่ละชุดซึ่งมีเสาที่มีความชะลูดเท่ากัน โครงมีอัตราส่วนของสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อ

สติฟเนสสัมพัทธ์ของคาน γ' เท่ากัน และมีความเฉศูนย์ที่ปลายเสา e/T เท่ากัน โดยมีปริมาณเหล็กเสริม และขนาดหน้าตัดคานที่ต่างกัน ในรูปจะแสดงร่วมกับเส้นแสดงความเฉศูนย์ที่ระบุ และเส้นโค้งปฏิกิริยาระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ของเสาสั้น (Short Column Load-Moment Interaction Curve) พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น และพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

5.5.2.2.1 <u>พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น</u>

เส้นโค้งสำหรับเสาในโครง BF10-B1AH-SL ถึง BF40-B5CL-SL ในรูปที่ 5.5 - 5.16 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ที่กึ่งกลางเสาภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น จะมีการลดลงของสติฟเนสของเสาอันเนื่องมาจากโมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวของเสา โมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวของเสาเกิดจากแรงตามแนวแกน และระยะโก่งตัวทางด้านข้างของเสา การลดลงของสติฟเนสของเสาจะส่งผลให้โมเมนต์ที่ปลายเสามีค่าลดลง ในเสาชะลูด การเพิ่มของโมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวของเสามีผลมากกว่าอัตราการเพิ่มที่ลดลงของโมเมนต์ที่ปลายเสา ทำให้โมเมนต์สูงสุดในเสามีค่าเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะลดกำลังรับน้ำหนักของเสา อิทธิพลของการลดสติฟเนสของเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูด และระยโก่งตัวทางด้านข้างเพิ่มขึ้น กำลังรับน้ำหนักของเสาภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นจะลดลงเมื่ออัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคาน จะยังผลให้การเพิ่มของโมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวทางด้านข้างของเสามีมากขึ้น เนื่องจากการโก่งตัวทางด้านข้างมีมากขึ้น (ดูรูปที่ 5.41 และ 5.42 ประกอบ)

ในแต่ละรูปซึ่งเป็นชุดของโครงซึ่งเสามีอัตราส่วนความชะลูดเท่ากัน มีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน คานมีความยาวเท่ากัน แต่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกทั้งหมดของคานต่างกัน พบว่า

(1) ในโครงซึ่งคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์มากเกินพอที่จะทำให้การวิบัติของโครงเกิดในเสาก่อนนั้น เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมเท่ากัน ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ (รวมถึงพฤติกรรมอื่น ๆ ด้วย) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น มีค่าใกล้เคียงกันโดยตลอด จนกระทั่งโครงเกิดการวิบัติโดยไม่ขึ้นกับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของ

คาน สังเกตุได้จากการเปรียบเทียบพฤติกรรมของโครง BF10-B1AH-SL, BF10-B1BH-SL และ BF10-B1CH-SL ในรูปที่ 5.5 โครง BF10-B2AH-SL, BF10-B2BH-SL และ BF10-B2CH-SL ในรูปที่ 5.6 โครง BF10-B3AH-SL, BF10-B3BH-SL และ BF10-B3CH-SL ในรูปที่ 5.7 โครงเหล่านี้ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานจะมีค่าน้อยกว่าค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานมาก โครงเหล่านี้ในชุดเดียวกันเสาจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากัน แต่เมื่อเปรียบเทียบโครง BF10-B1AM-SL และ BF10-B1BM-SL ในรูปที่ 5.5 โครง BF20-B2AM-SL และ BF20-B2BM-SL ในรูปที่ 5.9 โครง BF20-B1AH-SL และ BF20-B1BH-SL ในรูปที่ 5.8 ซึ่งค่าโมเมนต์ในคานขณะวิบัติมีค่าใกล้เคียงกับความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน พฤติกรรมขณะใกล้วิบัติจะต่างกันออกไปเล็กน้อย โดยโครงซึ่งคานมีค่า b/T น้อยกว่า จะมีค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในเสา และคานมากกว่าโครงที่คานมี b/T มากกว่า และให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติต่ำกว่าเล็กน้อย (ดูตารางที่ 5.4 ประกอบ) และเมื่อเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่างกันออกไป ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์จะต่างกันออกไปเล็กน้อยจนกระทั่งวิบัติ ทั้งนี้เนื่องมาจากสมมติฐานในการคิดสติฟเนส โดยวิธีหน้าตัดแปลงซึ่งกำหนดให้ค่าอัตราส่วนโมดูลาร์ (Modular ratio) ของเหล็กเสริมรับแรงอัดเป็น 2n ซึ่งได้คิดเอาผลของการคืบไว้ด้วย ทำให้พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นต่างกันออกไป จากตารางที่ 5.2 พบว่าในคานชุดเดียวกัน ซึ่งมีค่าสติฟเนสของหน้าตัดคานเท่ากันตามวิธีหน้าตัดแปลงนั้น คานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำกว่าจะให้ค่าสติฟเนสของหน้าตัดสูงกว่าเล็กน้อย ดังนั้นในโครงชุดเดียวกัน โครงซึ่งมีคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำกว่าจะให้ค่าโมเมนต์สุงสุดในเสาต่ำกว่าที่ระดับน้ำหนักบรรทุกต่ำ ๆ แต่เนื่องจากคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำกว่าให้ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดที่ต่ำกว่า ถ้าโมเมนต์ในคานยังคงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน ค่าโมเมนต์สูงสุดในเสาก็ยังคงมีค่าน้อยกว่า และยังผลให้โครงมีค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติสูงกว่าเล็กน้อย แต่ถ้าโมเมนต์ในคานมีค่าเข้าใกล้ความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน โครงซึ่งคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำจะให้ค่าโมเมนต์สูงสุดในเสาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติต่ำกว่า (ดูรูปที่ 5.5 และ 5.6)

(2) กรณีที่คานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ไม่มากพอที่จะทำให้โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน โครงจะเริ่มวิบัติจากคานก่อนตามความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน ซึ่งขึ้นกับเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคาน กล่าวคือ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาลดลง เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมและอัตราส่วนความกว้างต่อความลึก

ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 5.2 โดยพฤติกรรมของโครงแต่ละโครงในชุดเดียวกันจะใกล้เคียงกันเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่าต่ำ ๆ และจะเริ่มเบนออกจากกลุ่มจนกระทั่งเกิดการวิบัติ เมื่อโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานมีค่าเข้าใกล้ความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน กำลังรับน้ำหนักของเสาจะลดลงเมื่อคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลง

ค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติสำหรับโครงแต่ละโครงเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นนี้จะใช้ในการกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกค้างสำหรับโครงที่มีลักษณะเหมือนกันต่อไป

5.5.2.1.2 พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ที่กึ่งกลางเสาของเสาในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง แสดงไว้ในรูปที่ 5.17 - 5.40 ในรูปเหล่านี้ยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ภายใต้การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้าง หากไม่เกิดการวิบัติระหว่างการบรรทุกค้าง พร้อมกันนี้ได้แสดงว่าโมเมนต์ของเสาที่ข้อต่อซึ่งแทนด้วยเส้นประไว้ด้วย

พฤติกรรมของเสาภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างโดยส่วนใหญ่จะเหมือนกับเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น กล่าวคือ สติฟเนสของเสามีค่าลดลงตามเวลาอันเป็นผลมาจากการเพิ่มความโค้งเนื่องจากการคืบ ด้วยเหตุอันนี้ทำให้โมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวทางด้านข้างของเสามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเสามีค่าโก่งตัวทางด้านข้างเพิ่มขึ้นภายหลังการบรรทุกค้าง (ดูรูปที่ 5.41 และ 5.42)

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 พบว่าเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลา 25 ปี ค่าสติฟเนสของหน้าตัดคานมีค่าประมาณ 70% ของเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ในขณะที่เสามีค่าสติฟเนสของหน้าตัดเหลือน้อยกว่า 30% ของเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ทำให้อัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานมีค่าลดลงอย่างมาก ยังผลให้โมเมนต์ที่ข้อต่อมีค่าลดลงภายหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้าง เนื่องจากเสากระจายโมเมนต์ไปให้คานมากขึ้น

การเพิ่มของโมเมนต์ที่กึ่งกลางเสาอันเกิดจากการโก่งตัวทางด้านข้างของเสา จะชดเชยด้วยการลดลงของโมเมนต์ที่ปลายเสา ถ้าการเพิ่มของโมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวทางด้านข้างของเสามีผลมากกว่าการลดลงของโมเมนต์ที่ปลายเสา ค่าโมเมนต์สูงสุดที่กึ่งกลางเสาจะ

มีค่ามากกว่าเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเดียวกัน มิฉะนั้นจะมีผลตรงกันข้าม ทั้งนี้โครงที่วิเคราะห์ส่วนใหญ่มีค่าโมเมนต์สูงสุดที่กึ่งกลางเสาต่ำกว่า เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเดียวกัน ในรูปที่ 5.17 - 5.40 ยังได้แสดงเส้นโค้งปฏิกิริยาระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ของเสาสั้นเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลา 25 ปี (25-Year Short Cloumn Load-Moment Interaction Curve) ซึ่งแสดงด้วยเส้นประ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า โครงส่วนใหญ่มีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกภายหลังการบรรทุกค้างน้อยกว่าเมื่อรับน้ำหนักเป็นระยะเวลาสั้น

การพิจารณาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาภายหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้างเป็นเวลา 25 ปี ทำได้โดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วแก่โครงจนกระทั่งเกิดการวิบัติ ถ้าเกิดการวิบัติระหว่างการรับน้ำหนักบรรทุกค้างให้ถือเอาน้ำหนักบรรทุกนั้นเป็นค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยในเสาภายใต้การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็ว ผลของการเพิ่มของโมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวจะมีค่ามากกว่าผลของโมเมนต์ที่ปลายเสา แต่ไม่จำเป็นว่าค่าโมเมนต์สูงสุดที่กลางเสาจะมีค่ามากกว่าเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ที่ระดับน้ำหนักบรรทุกเดียวกัน

จากรูปที่ 5.17 , 5.19 และ 5.21 พบว่า โครงที่รับน้ำหนักบรรทุกค้างเท่ากัน เนื่องจากมีน้ำหนักบรรทุกวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นเท่ากัน ยังคงให้พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง และภายใต้การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้างเหมือนกัน เว้นแต่เมื่อโมเมนต์ในคานมีค่าเข้าใกล้ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน พฤติกรรมของโครงนั้นก็จะเริ่มเบนออกจากกลุ่มจนกระทั่งเกิดการวิบัติ

เมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น ค่าโมเมนต์ที่ข้อต่อจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้างที่มีค่าสูง ๆ เสาที่รับน้ำหนักบรรทุกมากกว่าจะมีการลดลงของสติฟเนสของหน้าตัดเสามากกว่า ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 จากการที่โมเมนต์ที่ข้อต่อมีค่าลดลงอย่างมากหลังการบรรทุกค้าง ทำให้โมเมนต์ที่กลางคานมีค่าเพิ่มขึ้นมากเช่นกัน ดังนั้นรูปแบบการวิบัติของโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลานาน จึงมักจะเกิดที่คานก่อน จากตารางที่ 5.5 พบว่ามีเพียงโครง BF10-B1AH-40, BF10-B1AH-60, BF10-B1BH-40, BF10-B2AH-40 และ BF10-B2AH-60 เท่านั้นที่โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน นอกนั้นโครงเกิดการวิบัติในคานก่อนทั้งสิ้น

5.5.2.2 พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนรูป

รูปที่ 5.41 และ 5.42 แสดงพฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าโก่งตัวทางด้านข้างของเสา เฉพาะโครงซึ่งให้ค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติสูงสุด และต่ำสุดของแต่ละกลุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากโครงแต่ละกลุ่มเป็นโครงที่มีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน อัตราส่วนความชะลูดของเสามีค่าเท่ากัน สติฟเนสของหน้าตัดคานมีค่าเท่ากัน พฤติกรรมของโครงแต่ละโครงในกลุ่มเดียวกันจะใกล้เคียงกันมาก

จากรูปที่ 5.41 จะเห็นว่าเมื่อโครงมีค่าอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน ค่าโก่งตัวทางด้านข้างของเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5.42 จะเห็นว่าเมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเท่ากัน ค่าโก่งตัวทางด้านข้างของเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเพิ่มขึ้น

เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง ค่าโก่งตัวทางด้านข้างของเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการคืบ และมีค่ามากขึ้นเมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น

5.5.2.3 ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุก

5.5.2.3.1 ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาในโครงภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.4

รูปที่ 5.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสากับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคาน ขณะที่คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่าง ๆ กัน และเสามีอัตราส่วนความชะลูดต่าง ๆ กัน เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น จุดทีบแทนโครงที่เกิดการวิบัติในเสา และจุดโปร่งแสดงการวิบัติของโครงเมื่อเกิดในคาน

รูปที่ 5.43 (ก) พิจารณากรณีที่เสามีอัตราส่วนความชะลูด h/T เป็น 10 โครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคาน γ' เป็น 1 เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมสูง ρ_H ($\rho = \rho' = 0.037\rho_b$) โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน เสาจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากัน และ

มีค่าโมเมนต์ในคานเท่ากันโดยไม่ขึ้นกับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคาน b/T เลย แต่เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมปานกลาง ρ_M($\rho = \rho' = 0.018$) เมื่อโครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน คานมีค่า b/T เป็น 0.5 และ 1 น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสามีค่าเท่ากัน แต่มีค่าสูงกว่าเมื่อคานมีค่าเปอร์เซนต์เหล็กเสริมสูงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการที่คานที่มีเปอร์เซนต์เหลก็เสริมปานกลางมีค่าสติฟเนสของหน้าตัดคานสูงกว่าเล็กน้อย ทำให้ค่าโมเมนต์สุงสุดที่กลางเสามีค่าต่ำกว่าที่ระดับน้ำหนักบรรทุกเดียวกัน แต่เมื่อคานมีค่า b/T เป็น 0.375 การวิบัติจะเกิดในคานก่อน ทั้งนี้เนื่องมาจากคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ต่ำกว่าคานที่มีค่า b/T สูงกว่า เมื่อพิจารณาคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำ ρ_L ($\rho = \rho' = 0.005$) โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อนเมื่อคานมีค่า b/T เป็น 1 ค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติมีค่าต่ำกว่าน้ำหนักวิบัติที่ได้จากโครง ซึ่งมีคานที่มีค่าเปอร์เซนต์เหล็กเสริมสูงกว่า ทั้งนี้เพราะว่าโมเมนต์ในคานมีค่าเข้าใกล้ความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานมาก ทำให้สติฟเนสของคานมีค่าลดลงอย่างมาก คานจะกระจายโมเมนต์ไปสู่เสามากขึ้น ยังผลให้โมเมนต์สูงสุดที่กลางเสามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะโครงใกล้วิบัติ ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาจึงมีค่าต่ำลงเล็กน้อย และเมื่อพิจารณากรณีที่คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำ และคานมีค่า b/T ลดลง โครงจะวิบัติในคานก่อน เสาจะมีน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลง ตามความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ลดลง

ในรูปที่ 5.43 (ก) เมื่อเสามีค่า h/T เป็น 20 และโครงมีค่า b/T เป็น 1 กรณีที่คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมสูง เมื่อคานมีค่า b/T เป็น 0.5 และ 1 โครงจะเกิดการวิบัติในเสาก่อน โดยที่เสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากัน และเมื่อคานมีค่า ρ เป็น 0.375 โครงจะเกิดการวิบัติในคานก่อน โดยที่เสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลงมีคานมี b/T ลดลง สำหรับกรณีที่เสามีค่า h/T เท่ากับ 30 และ 40 โครงในกลุ่มนี้โครงเกิดการวิบัติในคานก่อนทั้งหมด พบว่าเมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมคงที่ ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อคานมีค่า b/T เพิ่มขึ้น และเมื่อคานมีค่า b/T คงที่ ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยในเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อคานมีค่าเปอร์เซนต์เหล็กเสริมเพิ่มขึ้น

ในกรณีที่โครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานมากขึ้น ก็ยังให้ผลในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวข้างต้น

เฉลิมพระเกียรติ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในรูปที่ 5.94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ในคานกับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคาน เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่าง ๆ กัน สำหรับโครง BF10-B1XX-SL เส้นทึบแสดงความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน เส้นประแสดงค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานขณะโครงวิบัติ เมื่อคานมีค่าเปอร์เซนต์เหล็กเสริมหนึ่ง ๆ ผลการวิเคราะห์แสดงว่าถ้าความสามารถต้านทานโมเมนต์มีค่ามากกว่าค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานขณะที่โครงวิบัติ (เส้นทึบอยู่เหนือเส้นประ) แสดงว่าโครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน ณ. ตำแหน่งที่เส้นประและเส้นทึบบรรจบกันแสดงว่า โครงเกิดการวิบัติในคานก่อน จากรูปจะเห็นได้ว่า ที่เปอร์เซนต์เหล็กเสริมหนึ่ง ๆ เมื่อโครงวิบัติในเสาก่อน โมเมนต์ในคานจะมีค่าเท่ากันโดยไม่ขึ้นกับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคาน ความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ต้องการในคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมปานกลางมีค่าสูงกว่า เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมสูง เนื่องจากคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมปานกลางมีค่าสติฟเนสของหน้าตัดสูงกว่า จึงกระจายโมเมนต์จากเสาได้มากกว่า ขณะที่เสาวิบัติโมเมนต์ในคานมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถต้านทานโมเมนต์ในหน้าตัดคาน ดังนั้น โมเมนต์ในคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมปานกลางจึงยังคงมากกว่า ในกรณีที่คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำ และมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเป็น 1 โครงยังคงวิบัติในเสา โมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานขณะโครงเกิดการวิบัติจะมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานมีค่าใกล้เคียงกับความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน อย่างไรก็ตามจากรูปจะเห็นได้ว่า ค่าโมเมนต์ที่ต้องการเพื่อที่จะให้โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่างกันก็มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ถ้าคานที่มีสติฟเนสของหน้าตัดเท่ากัน และมีความสามารถต้านทานโมเมนต์สูงกว่าค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดในคานกลุ่มนี้ โครงจะวิบัติในเสาก่อน และโมเมนต์ในคานจะมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่ว่าคานจะมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกหรือเปอร์เซนต์เหล็กเสริมเป็นเท่าใด

เมื่อพิจารณาค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดในคานแต่ละกลุ่ม ซึ่งมีสติฟเนสของหน้าตัดเท่ากัน ขณะที่โครงวิบัติโดยที่อัตราส่วนความชะลูดของเสา และอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานต่าง ๆ กัน (ดังสรุปไว้ในตารางที่ 5.9) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ในคานกับอัตราความชะลูดของเสา เมื่อโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานต่าง ๆ กัน ดังในรูปที่ 5.95 เส้นทึบแสดงค่าโมเมนต์ในคานขณะที่โครงวิบัติในเสา และเส้นประแสดงค่าโมเมนต์ในคานเมื่อโครงเกิดการวิบัติในคาน สรุปได้ว่า โมเมนต์ในคานขณะที่โครงวิบัติจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น และโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานลดลง

กล่าวโดยสรุปก็คือ โครงที่มีการยึดป้องกันการเชทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น เสามีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ คือ

(1) เมื่อโครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสา ขณะโครงวิบัติจะมีค่าลดลง เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น โครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเพิ่มขึ้น โดยขึ้นกับเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานน้อยมาก

(2) เมื่อโครงเกิดการวิบัติในคานก่อน น้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาจะมีค่าลดลง เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกลดลง

5.5.2.3.2 <u>ความสามารถรับน้ำหนักภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง</u>

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาในโครงที่มีการยึดป้องกันการเชทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.5

รูปที่ 5.44 - 5.47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสากับคุณสมบัติของคาน B1XX,B2XX,B3XX และ B5XX ในโครงที่มีการยึดป้องกันการเชทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ยังคงมีผลเป็นเช่นเดียวกับเมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้าง และกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาจะมีค่าลดลงเมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้าง และเมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น

ในรูปที่ 5.44 (ก) พิจารณาเสาในโครง BF10-B1CH-40 , BF10-B1BH-40 และ BF10-B1AH-40 ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกค้างเท่ากัน เนื่องจากโครงมีน้ำหนักบรรทุกวิบัติเท่ากันภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น โครง BF10-B1AH-40 และ BF10-B1BH-40 เกิดการวิบัติในเสาก่อน และเสามีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน ขณะที่โครง BF10-B1CH-40 เกิดการวิบัติในคานก่อน และเสามีกำลังรับน้ำหนักน้อยกว่าในโครง BF10-B1AH-40 และ BF10-B1BH-40 ทั้งนี้แม้ว่าคาน B1XH ต่างก็มีความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลงภายหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้าง แต่โมเมนต์ในคาน B1AH และคาน B1BH ยังคงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถต้านทานโมเมนต์โครงจึงยังคงวิบัติในเสา ในขณะที่คาน B1CH มี

ความสามารถต้านทานโมเมนต์ต่ำกว่า และเกิดการวิบัติคานก่อนเสาจึงมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกต่ำกว่า พิจารณาโครง BF10-B1AH-60 มีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าโครง BF10-B1AH-40 เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง โมเมนต์สูงสุดที่กลางเสามีค่าลดลงมาก (ดูรูปที่ 5.17) โดยโมเมนต์ถ่ายไปสู่คานมากขึ้นระหว่างการบรรทุกค้าง แต่โมเมนต์ที่เกิดในคานยังคงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัด โครงจึงยังคงเกิดการวิบัติในเสา และทำให้โครงมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกภายหลังการบรรทุกค้างมากกว่าในโครง BF10-B1AH-40 เสาในโครง BF10-B1AM-40 มีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยต่ำกว่าในโครง BF10-B1AH-40 และ BF10-B1BH-40 ทั้งที่เสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นมากกว่า เนื่องจากขณะโครงใกล้เกิดการวิบัติ โมเมนต์ในคานมีค่าเข้าใกล้ความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน โมเมนต์สูงสุดที่กลางเสาจึงมีค่าเพิ่มขึ้นมาก และทำให้เสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยต่ำกว่า

รูปที่ 5.45 (ก) พิจารณาโครง BF10-B2AH-40 , BF10-B2BH-40 และ BF10-B2CH-40 ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกค้างเท่ากัน โครง BF10-B2AH-40 เกิดการวิบัติในเสา ขณะที่โครง BF10-B2BH-40 และ BF10-B2CH-40 เกิดการวิบัติในคาน โดยเสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลงตามลำดับ ในโครง BF10-B2AH-60, BF10-B2BH-60 และ BF10-B2CH-60 ก็ให้ผลในลักษณะเดียวกัน

ในโครงกลุ่มเดียวกันแต่มีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ไม่เท่ากันจะสรุปผลได้ไม่แน่นอน เนื่องมาจากที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเดียวกัน โครงที่มีกำลังรับน้ำหนักภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นสูงกว่า จะมีค่าน้ำหนักบรรทุกค้างสูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่โครงเกิดการวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง เช่น โครง BF30-B2BM-40 มีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกวิบัติหลังการบรรทุกค้างต่ำกว่าโครง BF30-B2CM-40 ซึ่งมีค่าน้ำหนักบรรทุกค้างต่ำกว่า ในกรณีของโครง BF10-B3BM-60 และ BF10-B3AM-60 ซึ่งวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง ขณะที่โครง BF10-B3CM-60 ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกค้างต่ำกว่าแต่ไม่เกิดการวิบัติระหว่างการบรรทุกค้าง มีค่ากำลังรับน้ำหนักภายหลังการบรรทุกค้างสูงกว่าค่าน้ำหนักบรรทุกค้างในโครงทั้งสอง ดังนี้เป็นต้น

ตารางที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่า เสาในโครง BF30-B5XX-XX (ยกเว้น BF30-B5AH-40) ในแต่ละโครงเหล่านี้ เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40% โครงมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกภายหลังการบรรทุกค้างสูงกว่า เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงเหล่านี้เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น โครงเกิดการวิบัติในคานที่ข้อต่อ ขณะที่โมเมนต์ที่กลางคานยังคงมีค่าน้อย เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง ค่าโมเมนต์ที่ข้อต่อจะลดลงอย่างมาก โมเมนต์จากเสาจึงกระจายไปสู่คานมากขึ้น ดังนั้นโครงจึงมีค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติเพิ่มขึ้นหลังการบรรทุกค้างทั้งกรณีที่โครงจะวิบัติในคานที่ข้อต่อ หรือที่กลางคาน เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้าง 60% โครงจะรับน้ำหนักได้น้อยกว่าเมื่อบรรทุกค้าง 40% แต่อาจจะมากกว่า หรือน้อยกว่าเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นก็ได้แล้วแต่กรณี

จากแนวโน้มในตารางที่ 5.9 สรุปได้ว่า โครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ต้องการจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 5.10 พิจารณากรณีที่โครงรับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40% เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 ค่าโมเมนต์ที่ต้องการน้อยกว่าโครงที่มีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากันภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น เนื่องมาจากภายหลังการบรรทุกค้าง เสามีการโก่งตัวทางด้านข้างเพิ่มขึ้นจากก่อนการบรรทุกค้างไม่มากนัก หน้าตัดคานมีค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลงเล็กน้อย แต่เสามีความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลงมากที่ค่าน้ำหนักบรรทุกเดียวกัน (ดูตารางที่ 5.1 และ 5.2) ดังนั้นโครงจึงวิบัติด้วยค่าน้ำหนักบรรทุกที่ต่ำกว่า ในเสาที่มีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้นผลของการโก่งตัวทางด้านข้างของเสาจะมีเพิ่มขึ้น กรณีที่เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 20 และโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์เป็น 1 ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ต้องการสำหรับหน้าตัดคานกลับมีค่ามากกว่าเมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น

กล่าวโดยสรุปก็คือ โครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง เสามีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้คือ

(1) เมื่อโครงวิบัติในเสาทั้งเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น และภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาจะลดลงเมื่อ โครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเพิ่มขึ้น เสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น และเมื่อมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น

โดยขึ้นกับคุณสมบัติของคานซึ่งแสดงออกมาในรูปของความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดน้อยมาก ยกเว้นเมื่อโมเมนต์ในคานมีค่าใกล้ความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานนั้น

(2) โครงซึ่งเกิดการวิบัติในเสาภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น แต่เกิดการวิบัติในคานภายหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้าง เสาในโครงชุดเดียวกันจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลงเมื่อ คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกลดลง

(3) โครงซึ่งวิบัติในคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น โครงในชุดเดียวกันจะรับน้ำหนักบรรทุกค้างไม่เท่ากันที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเดียวกัน ผลกระทบของคานที่มีต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาจะไม่สามารถสรุปได้แน่นอน แต่โดยส่วนใหญ่แล้วค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาจะลดลงเมื่อ คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกลดลง

(4) ในกรณีข้อที่ 1 เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 และโมเมนต์ในคานขณะโครงใกล้วิบัติมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน เมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น เสาอาจมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยเพิ่มขึ้นได้เล็กน้อย เนื่องมาจากโมเมนต์ที่ข้อต่อมีค่าลดลงมากกว่าที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้างมากกว่า และโมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวมีผลน้อยในกรณีเสาสั้น ๆ แต่กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสานี้จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น เนื่องจากหน้าตัดเสามีความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลง เมื่อต้องรับน้ำหนักเป็นเวลานาน

(5) ในกรณีข้อที่ 3 เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดสูง ๆ คานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ต่ำ ๆ และเมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นเกิดการวิบัติในคานที่ข้อต่อ เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง เสาอาจมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากภายใต้การบรรทุกค้างโมเมนต์ที่ข้อต่อจะลดลง แต่โครงอาจจะวิบัติในคานที่ข้อต่อ หรือกลางคานก็ได้

5.6 การวิเคราะห์เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง

ในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ซึ่งได้รับแรงกระทำทางด้านข้างได้มีการโก่งตัวดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.48 เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์จะสมมติว่าเกิดจุดคัดกลับที่กึ่งกลางคานทุกช่วงคาน และที่กึ่งกลางเสาในทุกชั้น จากสมมติฐานอันนี้ทำให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างย่อยดังรูปที่ 5.49 แทนการวิเคราะห์โครงสร้างทั้งหมดได้

5.6.1 รายละเอียดโครง

จะทำการวิเคราะห์โครงลักษณะแบบในรูปที่ 5.49 จำนวน 252 โครง เป็นโครงที่รับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นจำนวน 108 โครง และรับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่าเป็น 40% และ 60% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นของโครงที่มีลักาณะเหมือนกัน จำนวนอย่างละ 72 โครง เวลาที่ใช้ในการบรรทุกค้าง 25 ปี ถ้าการวิบัติไม่เกิดขึ้นภายหลังการบรรทุกค้าง ให้เพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วจนกระทั่งโครงเกิดการวิบัติ คุณสมบัติของโครงที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.6 รายละเอียดของคาน และเสาดังแสดงในหัวข้อที่ 5.3 และ 5.4 ระยะเฉศูนย์ที่ระบุที่ปลายเสาคิดจากสมมติฐานที่กล่าวไปแล้ว โดยการปรับค่าแรงกระทำทางด้านข้าง P_L ให้สอดคล้องกับความยาวของเสา h และน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งที่กระทำที่หัวเสา P_c เพื่อให้ได้ระยะเฉศูนย์ตามที่ต้องการ ในที่นี้จะกำหนดให้ค่าความเฉศูนย์ที่ระบุ e/T เป็น 0.15 สำหรับทุกโครง

ในการวิเคราะห์จะใช้แบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 5.50 โดยแบ่งเสาออกเป็น 5 ชิ้นส่วนย่อยเท่า ๆ กัน และแบ่งคานออกเป็น 5 ชิ้นส่วนย่อยเท่า ๆ กัน

5.6.2 ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์เสาคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างจะแสดงไว้ในรูปของกราฟ และตาราง ส่วนผลการวิเคราะห์ที่เป็นตัวเลขให้ไว้ในภาคผนวก ช.2 ผลกระทบของคุณสมบัติของคานที่มีต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง จะแสดงไว้ในรูปของ

(1) กราฟแสดงพฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ของเสา

(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนรูป

(3) ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสา

5.6.2.1 พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์

เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ที่ข้อต่อของเสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.51 - 5.84 ซึ่งในรูปเหล่านี้แต่ละรูปจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของเสาในโครงแต่ละชุด ซึ่งเสามี

อัตราส่วนความชะลูดเท่ากัน โครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคาน เท่ากัน โดยมีปริมาณเหล็กเสริมและขนาดหน้าตัดคานที่ต่างกัน ในรูปจะแสดงร่วมกับเส้นแสดงความเฉ-ศูนย์ที่ระบุ และเส้นโค้งปฏิกิริยาระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ของเสาสั้น (Short Column Load-Moment Interaction Curve)พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น และพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

5.6.2.1.1 พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น

พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ที่ข้อต่อของเสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.51 - 5.62 จะพบว่าเมื่อเสารับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น สติฟเนสของเสาจะลดลง เนื่องมาจากโมเมนต์ที่ข้อต่อ และโมเมนต์อันเกิดมาจากการโก่งตัวทางด้านข้างของเสา ซึ่งจะส่งผลให้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ข้อต่อมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ผลของการโก่งตัวทางด้านข้างของเสาในการที่จะเพิ่มค่าโมเมนต์สูงสุดที่ข้อต่อจะมีค่ามากขึ้น เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น และโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 5.87 และ 5.88 ประกอบ)

สำหรับพฤติกรรมของเสาในโครงชุดเดียวกัน คือ โครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน เสามีอัตราส่วนความชะลูดเท่ากัน แต่มีปริมาณเหล็กเสริมในคาน และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานต่างกัน พบว่าพฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกโมเมนต์ที่ข้อต่อของเสาในโครงเหล่านี้ใกล้เคียงกันมากตลอดทุกระดับน้ำหนักบรรทุกจนกระทั่งเกิดการวิบัติในโครง ไม่ว่าการวิบัติจะเกิดในเสา หรือในคานก่อน กล่าวคือ

(1) ในกรณีที่คานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดมากเกินพอที่จะทำให้การวิบัติในโครงเกิดในเสาก่อน กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาในโครงจะขึ้นกับคุณสมบัติของคาน คือ ปริมาณเหล็กเสริมในคาน และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานน้อยมาก กล่าวคือ โครงซึ่งมีคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมเท่ากัน แต่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานต่างกัน พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ที่ข้อต่อของเสาในโครงจะมีค่าเท่ากันที่ทุกระดับน้ำหนักบรรทุกจนกระทั่งโครงเกิดการวิบัติ แต่เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่างกันที่ระดับน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน คานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำกว่า จะให้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ปลายเสาต่ำกว่าที่ทุกระดับน้ำหนักบรรทุก เนื่องจากคานที่มีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่ำกว่าจะให้ค่า

สติฟเนสของหน้าตัดคานสูงกว่าเล็กน้อย (ดูตารางที่ 5.2) อย่างไรก็ตามกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาก็ยังคงใกล้เคียงกัน เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่างกัน

(2) เมื่อโครงเกิดการวิบัติในคานก่อน พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ที่ข้อต่อของเสาในโครงก็ยังคงเป็นเช่นเดียวกับ กรณีที่โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อนที่ทุกระดับน้ำหนักบรรทุกจนกระทั่งโครงเกิดการวิบัติ ทั้งนี้เนื่องจากโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างนั้น ผลของอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานมีผลต่อพฤติกรรมของเสาในโครงไม่มาก ดังนั้นเมื่อโมเมนต์ในคานมีค่าเข้าใกล้ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน สติฟเนสของหน้าตัดคานจะลดลงมาก แต่คานไม่สามารถที่จะกระจายโมเมนต์ไปให้เสาได้ จึงทำให้พฤติกรรมของเสาในโครงเปลี่ยนไปน้อยมา ซึ่งต่างจากในกรณีของเสาในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง เมื่อคานใกล้จะวิบัติ คานจะกระจายโมเมนต์ไปสู่เสามากขึ้น ทำให้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่กลางเสามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะโครงใกล้วิบัติ

ค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติสำหรับโครงเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น จะใช้ในการกำหนดค่าน้ำหนักบรรทุกค้างสำหรับโครงที่มีลักษณะเหมือนกันต่อไป

5.6.2.1.2 <u>พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง</u>

พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ที่ข้อต่อของเสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง แสดงไว้ในรูปที่ 5.63 - 5.86

พฤติกรรมของเสาโดยส่วนใหญ่จะเหมือนกับพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น กล่าวคือ ภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง สติฟเนสของเสาและคานมีค่าลดลงตามเวลาอันเป็นผลมาจากการเพิ่มความโค้งเนื่องจากการคืบ ด้วยเหตุอันนี้ทำให้โมเมนต์อันเกิดจากการโก่งตัวทางด้านข้างของเสามีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าโมเมนต์สูงสุดซึ่งเกิดที่ข้อต่อของเสามีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ประกอบกับความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดเสา และคานต่างก็มีค่าลดลงเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลา 25 ปี ซึ่งในรูปที่ 5.63 - 5.86 ได้แสดงในรูปของเส้นโค้งปฏิกิริยา ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ของเสาสั้น เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลา 25ปี ซึ่งทำให้กำลังในการรับน้ำหนักของเสาภายหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่าลดลงจากกำลังรับน้ำหนักภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นเสมอ

จากรูปที่ 5.63 , 5.64 , 5.69, 5.70, 5.75 และ 5.81 ซึ่งแต่ละรูปแสดงโครงที่มีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน เสามีค่าอัตราส่วนความชะลูดเท่ากัน คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมเท่ากัน แต่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานต่างกัน พบว่าโครงที่รับน้ำหนักบรรทุกค้างเท่ากัน เนื่องมาจากโครงมีค่าน้ำหนักบรรทุกวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นเท่ากัน เสายังคงให้พฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง และภายใต้การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้างเหมือนกัน โดยตลอดจนกระทั่งโครงเกิดการวิบัติไม่ว่าโครงจะเกิดการวิบัติในคานหรือในเสาก่อน

เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น ค่าโมเมนต์ที่ปลายเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา เนื่องจากโครงมีการเปลี่ยนรูปมากขึ้น เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง และผลมีมากขึ้นเมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 5.87 และ 5.89 ประกอบ)

รูปที่ 5.63 - 5.68 แสดงโครงซึ่งเสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 ไม่ปรากฏโครงที่วิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง รูปที่ 5.69 - 5.74 แสดงโครงที่เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 20 โครงจะเกิดการวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างเมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่า 60% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น

รูปที่ 5.75 - 5.80 แสดงโครงที่เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 30 รูปที่ 5.75 และ 5.76 โครงเกิดการวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างทั้งที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40% และ 60% รูปที่ 5.77 - 5.81 โครงเกิดการวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างเฉพาะเมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้าง 60%

รูปที่ 5.81 - 5.86 แสดงโครงที่เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 40 พบว่าเมื่ออัตราส่วนสติฟเนสของเสาต่อคาน γ' เป็น 1 โครงเกิดการวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างทั้งที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40% และ 60% แต่เมื่อโครงมีค่า γ' เป็น 2 และ 3 การวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างจะเกิดเมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้าง 60% เท่านั้น มีเพียงบางโครงเท่านั้นที่วิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างเมื่อมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40% เนื่องจากโครงเหล่านี้มีค่าน้ำหนักบรรทุกค้างต่ำมาก ผลของการคืบภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างจึงมีไม่มาก

5.6.2.2 พฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการเปลี่ยนรูป

รูปที่ 5.87 และ 5.88 แสดงพฤติกรรมระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการหมุนที่ข้อต่อของเสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง เฉพาะโครงซึ่งให้ค่าน้ำหนักบรรทุวิบัติสูงสุด และต่ำสุดของแต่ละกลุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากโครงแต่ละกลุ่มเป็นโครงที่มีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน อัตราส่วนความชะลูดของเสาเท่ากัน สติฟเนสของหน้าตัดคานมีค่าเท่ากัน พฤติกรรมของโครงแต่ละโครงในกลุ่มเดียวกันจะใกล้เคียงกันมาก

จากรูปที่ 5.87 จะเห็นว่าเมื่อโครงมีค่าอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน ค่าการหมุนที่ข้อต่อจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5.88 จะเห็นว่าเมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเท่ากัน ค่าการหมุนที่ข้อต่อจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเพิ่มขึ้น

เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง ค่าการหมุนที่ข้อต่อจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการคืบและมีค่ามากขึ้นเมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น

5.6.2.3 ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุก

5.6.2.3.1 ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.7

รูปที่ 5.89 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสากับอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคาน เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่าง ๆ กัน และเสามีอัตราส่วนควาชะลูดต่าง ๆ กัน เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น จุดทึบแสดงโครงที่เกิดการวิบัติในเสาก่อน และจุดประแสดงการวิบัติของโครงเมื่อเกิดในคานก่อน

จากรูปที่ 5.89 (ก) จะเห็นว่า เมื่อโครงมีค่าอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเป็น 1 และเสามีอัตราส่วนความชะลูด h/T เป็น 10 คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริม ρ สูง และปานกลาง การวิบัติในโครงจะเกิดในเสาก่อน เสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากัน

ทั้งนี้ไม่ขึ้นกับค่าเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานเลย โดยที่โมเมนต์ในคานก็มีค่าเท่ากัน แต่เมื่อคานมี ρ ต่ำ โครงจะเกิดการวิบัติในเสาก่อนเฉพาะเมื่อ คานมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึก b/T เป็น 1 โดยมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสา และค่าโมเมนต์ในคานเท่ากับเมื่อโครงซึ่งมีคานซึ่งมี ρ สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากขณะโครงวิบัติโมเมนต์ในคานแต่ละโครงมีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน และผลของสติฟเนสของหน้าตัดคานที่ต่างกันเล็กน้อย เมื่อเปอร์เซนต์เหล็กเสริมต่างกัน มีผลต่อพฤติกรรมของโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างน้อยมาก เมื่อคานมีค่า b/T เป็น 0.5 และ 0.375 โครงจะเกิดการวิบัติในคานก่อน โดยเสามีค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยลดลง ตามลำดับ และขณะวิบัติค่าโมเมนต์ในคานมีค่าเท่ากับค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานนั้น ๆ เมื่อพิจารณากรณีที่เสามีค่า h/T เป็น 20 ก็จะให้ผลเช่นเดียวกับเมื่อ h/T เป็น 10 กรณีที่เสามีค่า h/T เป็น 30 เมื่อคานมีค่า ρ สูง โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน เสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากัน โดยไม่ขึ้นกับค่า b/T เลย เมื่อคานมีค่า ρ ปานกลาง และคานมีค่า b/T เป็น 1 โครงจะเกิดการวิบัติในเสาก่อน และเสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยเท่ากับเมื่อคานมีค่า ρ สูง เมื่อคานมีค่า b/T ลดลง โครงจะเกิดการวิบัติในคานก่อน โดยเสาจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลงตามลำดับ เมื่อคานมีค่า ρ ต่ำ โครงจะเกิดการวิบัติในคานก่อน โดยเสามีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลง เมื่อคานมีค่า b/T ลดลง

รูปที่ 5.89 (ข), (ค) และ(ง) ก็จะให้ผลในทำนองเดียวกับในรูป (ก)

ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ในคานกับอัตราส่วนความชะลูดของเสา เมื่อโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่าง ๆ กันแสดงไว้ในรูปที่ 5.96 (อาศัยข้อมูลจากตารางที่ 5.10) เส้นทึบแสดงค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ต้องการในการทำให้โครงเกิดการวิบัติในเสา เส้นประแสดงค่าโมเมนต์ในคานเมื่อโครงเกิดการวิบัติในคาน สรุปได้ว่า ความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ต้องการสำหรับหน้าตัดคานที่จะทำให้โครงวิบัติในเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น และโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่า ความสามารถรับน้ำหนักของเสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นขึ้นกับ

(1) เมื่อโครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสามีค่าลดลง เมื่อโครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเพิ่มขึ้น เสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น โดยไม่ขึ้นกับค่าเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และค่าอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานเลย

(2) เมื่อโครงเกิดการวิบัติในคานก่อน เสาจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลง เมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริมลดลง และคานมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกลดลง โดยคุณสมบัติของคานแสดงออกมาในรูปของความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน

5.6.2.3.2 <u>ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง</u>

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.8

รูปที่ 5.90 - 5.93 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสากับคุณสมบัติของคาน B1XX, B2XX, B3XX และ B5XX ในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ยังคงมีผลเช่นเดียวกับเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง โดยที่เสาจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลง เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้าง และเมื่อมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น

พิจารณารูปที่ 5.90 (ก) โครง UF10-B1XX-SL ซึ่งมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นเท่ากัน โดยเกิดการวิบัติในเสาก่อน เมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเท่ากันพบว่า โครงเหล่านี้ยังคงวิบัติในเสา และมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน โดยไม่ขึ้นกับเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานเลย

ในรูปที่ 5.90 (ข) โครง UF20-B1XH-40 เกิดการวิบัติในเสาก่อน และมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน โครง UF20-B1BM-40 และ UF20-B1AM-40 ต่างก็เกิดการวิบัติในเสาก่อน แต่โครง UF20-B1CM-40 มีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากโมเมนต์ในคานมีค่าเข้าใกล้ความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน และเกิดการวิบัติในคาน จึงมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกต่ำกว่าโครงอื่น โครง UF20-B1AM-40

มีค่ากำลังรับน้ำหนักสูงกว่าโครง UF20-B1XX-40 เล็กน้อยเนื่องจากผลของสติฟเนสของหน้าตัดที่ต่างกันเล็กน้อย ดังได้กล่าวไปแล้ว โครง UF20-B1AM-60 ทุกโครงวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง เนื่องจากมีค่าน้ำหนักบรรทุกค้างสูงกว่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุก เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40%

ในรูปที่ 5.90 (ค) โครง UF30-B1XH-SL มีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากันแต่โครง UF30-B1XH-40 วิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง ดังนั้น โครง UF30-B1XH-60 จึงวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างด้วย โครง UF30-B1XM-40 และ UF30-B1XM-60 ในรูปเดียวกัน และโครงในรูปที่ 5.90 (ง) ก็ให้ผลในลักษณะเดียวกัน

ในรุปที่ 5.91 (ก), 5.92 (ก), 5.92 (ข) และ 5.93 (ก) สรุปได้ว่า เมื่อโครงมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น โครงจะมีกำลังรับน้ำหนักลดลง

ในรูปที่ 5.91 (ค), 5.92 (ค) และ 5.93 (ข) สรุปได้ว่า เมื่อโครงเกิดการวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง 40% แล้ว โครงจะวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง 60% ด้วย

รูปที่ 5.91 (ข) โครง UF20-B2AH-40 มีค่าน้ำหนักบรรทุกต่ำกว่าในโครง UF20-B2BH-40 และ UF20-B2XX-40 อื่น ๆ เนื่องจากโครง UF20-B2XX-SL เกิดการวิบัติในคานก่อน โครง UF20-B2AH-40 รับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่าสูงกว่าโครงอื่นมากที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเดียวกัน จึงมีกำลังรับน้ำหนักต่ำกว่าในโครงอื่น ส่วนโครง UF20-B2XX-60 วิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างทั้งหมด โครงเหล่านี้มีค่าน้ำหนักบรรทุกค้างใกล้กับกำลังรับน้ำหนักของโครงเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40%

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ในคานในจะทำให้โครงวิบัติในเสาจากตารางที่ 5.10 พบว่าข้อมูลมีไม่เพียงพอที่จะสรุป เนื่องจากโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างเกิดการวิบัติภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามพอสรุปได้ว่ากรณีเสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 ขณะที่โครงรับน้ำหนักบรรทุก 60% และกรณีเสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 20 ขณะที่โครงบรรทุกค้าง 40% ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ต้องการสำหรับหน้าตัดคานให้โครงวิบัติในเสามีค่ามากกว่า เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น เนื่องจากผลของการโก่งตัวมีอิทธิพลของเสามีอิทธิพลมากกว่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่ลด

ลงของหน้าตัดเสา กรณีที่เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 ขณะที่โครงรับน้ำหนักบรรทุกค้าง 40% ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์สำหรับหน้าตัดคาน กลับมีค่าน้อยกว่า เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่คานต้องการจริง ๆ เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้างจะต้องมีค่ามากกว่าค่าในตาราง เนื่องจากการที่คานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลงเมื่อต้องรับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลานาน ๆ

สรุปได้ว่า ในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ คือ

(1) เมื่อโครงวิบัติในเสาทั้งเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น และภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้าง ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาจะลดลงเมื่อ โครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเพิ่มขึ้น เสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น และเมื่อมีระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเพิ่มขึ้น โดยขึ้นกับเปอร์เซนต์เหล็กเสริมและอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกคาน ซึ่งแสดงออกมาในรูปของความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานน้อยมาก ยกเว้นเมื่อโมเมนต์ในคานมีค่าใกล้ความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานนั้น ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาจะลดลงเมื่อคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลง

(2) โครงซึ่งเกิดการวิบัติในเสาภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น แต่เกิดการวิบัติในคานภายหลังการบรรทุกค้าง เสาในโครงชุดเดียวกันจะมีค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยลดลงเมื่อคานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และมีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกลดลง

(3) โครงซึ่งวิบัติในคานภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ในโครงชุดเดียวกันจะรับน้ำหนักบรรทุกค้างไม่เท่ากันที่ระดับน้ำหนักบรรทุกค้างเดียวกัน ผลกระทบของคานที่มีต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาจะไม่สามารถสรุปได้แน่นอน แต่โดยส่วนใหญ่แล้วค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาจะลดลงเมื่อ คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกลดลง

(4) เมื่อโครงมีค่าน้ำหนักบรรทุกค้างที่ระดับ 60% สูงกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักภายหลังการบรรทุกค้าง 40% หรือโครงเกิดการวิบัติภายใต้การบรรทุกค้าง 40% แล้ว โครงจะวิบัติภายใต้การบรรทุกค้าง 60% ด้วย

5.7 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับมาตรฐานการออกแบบอาคาร ACI 318-83

มาตรฐานการออกแบบอาคารของ ACI ปี ค.ศ. 1983 กำหนดให้ใช้วิธีโมเมนต์ขยาย(Moment Magnification Mothod) ในการออกแบบเสายาวคอนกรีตเสริมเหล็กโดยอาศัยแนวคิดของ แรงตามแนวแกน P_u แรงวิกฤตที่ทำให้เกิดการโก่งเคาะ (Critical Buckling Load) สำหรับเสา P_c และสติฟเนส EI ของหน้าตัดเสา

มาตรฐานการออกแบบอาคาร ACI 318-83ได้กล่าวไว้ส่วนหนึ่งของตอนที่ 10.11.5 ว่า

"จะต้องออกแบบองค์อาคารรับแรงอัดโดยใช้แรงตามแนวแกนที่เพิ่มส่วนปลอดภัยจากการวิเคราะห์โครงด้วยวิธีธรรมดา (Conventional Frame Analysis) และโมเมนต์ขยาย M_c ซึ่งนิยามโดย

$$M_c = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s} \qquad (10\text{-}6)$$

เมื่อ

$$\delta_b = \frac{C_m}{1-(P_u/\phi P_c)} \geq 1.0 \qquad (10\text{-}7)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1-\frac{\Sigma P_u}{\phi \Sigma P_c}} \geq 1.0 \qquad (10\text{-}8)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2} \qquad (10\text{-}9)$$

ΣP_u และ ΣP_c เป็นผลรวมของเสาทุกต้นในชั้นหนึ่ง ๆ ในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ควรจะคำนวณทั้ง δ_b และ δ_s สำหรับโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ควรใช้ค่า δ_s เป็น 1.0 ในการคำนวณ δ_c ค่า k ควรคำนวณตามตอนที่ 10.11.2.1 สำหรับ δ_b และตามตอนที่ 10.11.2.2 สำหรับ δ_s

แทนการคำนวณอย่างละเอียดค่า EI ในสมการ (10-9) อาจจะเลือกใช้จาก

$$EI = \frac{(E_c I_g/5)+ E_s I_{se}}{1+\beta_d} \qquad (10\text{-}10)$$

หรือใช้ค่าประมาณอย่างต่ำ ๆ (Conservatively)

$$EI = \frac{E_c I_g / 2.5}{1 + \beta_d} \qquad (10\text{-}11)$$

ในสมการ (10-7) สำหรับองค์อาคารที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง และไม่มีแรงกระทำตามขวางระหว่างฐานรองรับ C_m อาจหาได้จาก

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \qquad (10\text{-}12)$$

แต่ไม่น้อยกว่า 0.4

สำหรับในกรณีอื่น ๆ ควรให้ C_m มีค่าเป็น 1.0"

สัญญลักษณ์ต่าง ๆ ข้างบนนิยามดังต่อไปนี้คือ

δ_b = ตัวประกอบโมเมนต์ขยายสำหรับโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง แสดงถึงผลกระทบของค่าความโค้งระหว่างปลายทั้งสองข้างขององค์อาคารรับแรงอัด

δ_s = ตัวประกอบโมเมนต์ขยายสำหรับโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง แสดงถึงผลของการเลื่อนทางด้านข้าง อันเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทางด้านข้างและน้ำหนักบรรทุกตามแนวโน้มถ่วง

P_u = แรงตามแนวแกนสำหรับออกแบบ

P_c = น้ำหนักบรรทุกวิกฤตสำหรับเสา

k = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผลสำหรับองค์อาคารรับแรงอัด

E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับคอนกรีต

E_s = โมดูลัสยืดหยุ่นสำหรับเหล็กเสริม

I_g = โมเมนต์อินเนอร์เชียหน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีตรอบแกนศูนย์ถ่วงโดยไม่คิดเหล็กเสริม

I_{se} = โมเมนต์อินเนอร์เชียของเหล็กเสริมรอบแกนศูนย์ถ่วงหน้าตัดขององค์อาคาร

β_d = อัตราส่วนของโมเมนต์สูงสุดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ซึ่งเพิ่มส่วนปลอดภัยต่อโมเมนต์สูงสุดจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด ซึ่งเพิ่มส่วนปลอดภัยมีค่าเป็นบวกเสมอ

C_m = ตัวประกอบโยงความเกี่ยวพันแผนภาพโมเมนต์จริงไปยังแผนภาพโมเมนต์สม่ำเสมอที่เทียบเท่ากัน

M_{1b} = ค่าที่เล็กกว่าของโมเมนต์ที่ปลายองค์อาคารรับแรงอัด ซึ่งเพิ่มส่วนปลอดภัยอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ทำให้เกิดการเซทางด้านข้าง คำนวณโดยการวิเคราะห์โครงยืดหยุ่นด้วยวิธีธรรมดา มีค่าเป็นบวกถ้าองค์อาคารโก่งแบบโค้งเดียว มีค่าเป็นลบเมื่อโก่งแบบสองโค้ง

M_{2b} = ค่าที่ใหญ่กว่าของโมเมนต์ที่ปลายขององค์อาคารรับแรงอัด ซึ่งเพิ่มส่วนปลอดภัยอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ทำให้เกิดการเซทางด้านข้าง คำนวณโดยวิเคราะห์โครงยืดหยุ่นแบบธรรมดา มีค่าเป็นบวกเสมอ

M_{2s} = ค่าที่ใหญ่กว่าของโมเมนต์ที่ปลายองค์อาคารรับแรงอัด ซึ่งเพิ่มส่วนปลอดภัยอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดการเซมากพอประมาณ คำนวณโดยการวิเคราะห์โครงยืดหยุ่นแบบธรรมดา

M_c = โมเมนต์ซึ่งเพิ่มส่วนปลอดภัยสำหรับใช้ออกแบบองค์อาคารรับแรงอัด

ϕ ตัวประกอบลดกำลัง

l_u ความยาวอิสระขององค์อาคารรับแรงอัด

ก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบจะพิจารณาถึงเงื่อนไขของการหากำลังรับน้ำหนักของเสาในโครง โดยวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอ และวิธีที่เสนอโดยมาตรฐานการออกแบบอาคาร ACI 318-83 ซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.97 กล่าวคือ

โดยวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอนั้น เสาโครงจะเกิดการวิบัติเมื่อโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดมีค่าสูงกว่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ของคาน หรือของเสาจากไดอะแกรมปฏิกิริยาระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ ซึ่งความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการรับน้ำหนักบรรทุกโดยที่โมเมนต์ขยายที่เกิดบนหน้าตัดมีผลมาจากการที่โครงสร้างมีการตอบสนองแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง กับน้ำหนักบรรทุก

โดยวิธีการของโมเมนต์ขยายที่เสนอโดยมาตรฐานการออกแบบอาคาร ACI 318-83 นั้น โมเมนต์ขยายได้มาจากสมการ (10-7) และ (10-8) และสมการที่เกี่ยวข้องดังแสดงไว้แล้วข้างต้น ผลของการคืบได้แสดงไว้ในรูปของ β_d ซึ่งทำให้ค่าโมเมนต์ขยายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลานาน โดยที่ความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดเสาไม่ขึ้นกับระยะเวลาในการรับน้ำหนัก และไม่ได้พิจารณาถึงความสามารถต้านทานโมเมนต์ของคานซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามขนาดหน้าตัด และปริมาณเหล็กเสริมในการเปรียบเทียบจะใช้ค่า EI จากสมการ (10-10) เท่านั้น

น้ำหนักบรรทุกวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงทั้งที่มีการยึด และไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ทั้งที่รับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลาสั้น และที่รับน้ำหนักบรรทุกค้างที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอ และที่คิดจากวิธีที่เสนอโดยมาตรฐานการออกแบบอาคาร ACI 318-83 ได้เปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5.4, 5.5, 5.7 และ 5.8

<u>ตัวอย่าง</u> เพื่อเป็นการแสดงการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสา จะขอยกตัวอย่างโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง BF20-B1AH-40 คุณสมบัติต่าง ๆ ของโครงดูได้จากตารางที่ 5.2 และ 5.3

โดยวิธีโมเมนต์ขยายที่เสนอโดย ACI 318-83 ค่า EI ของหน้าตัดเสาหาได้จากสมการ (10-10) คือ

$$EI = \frac{E_c I_g/5 + E_s I_{se}}{1 + \beta_d}$$

$E_c = 15,100\sqrt{280} = 252,671$ กก./ตร.ซม.

$E_s = 2,040,000$ กก./ตร.ซม.

$I_g = \frac{1}{12} \times 50 \times (25)^3 = 65,104$ ซม.^{4}

$I_{se} = 50 \times (8.75)^2 = 3,828$ ซม.^{4}

$\beta_d = 0.4$ เนื่องจากโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้างมีค่าเท่ากับ 0.4 ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นของโครงที่มีลักษณะเหมือนกัน

$$EI = 252,671 \times 65,104/5 + 2,040,000 \times 3,828$$

$$= 7.18 \times 10^{9}$$

สำหรับ EI ของคานซึ่งคำนวณโดยวิธีหน้าตัดแปลงได้

$$EI = 252,671 \times 94,097$$

$$= 2.38 \times 10^{10} \quad \text{กก.-ตร.ซม.}$$

อัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานหาได้จาก

$$\gamma' = \frac{\Sigma\ (EI/L)\text{เสา}}{\Sigma\ (EI/L)\text{คาน}}$$

$$= \frac{7.18 \times 10^{9}/\ 500}{2.38 \times 10^{10}/500} = 0.3$$

จากโนโมกราฟในหนังสือคอมเมนต์ตารีสำหรับมาตรฐานการออกแบบอาคารของ ACI ปี 1983 (32) สำหรับเสาในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างที่มี $\gamma' = 0.3$ จะได้ $k = 0.63$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณน้ำหนักบรรทุกวิกฤตสำหรับเสาได้จากสมการ (10-9)

$$P_L = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 x(7.18 \times 10^{9}/(1+0.4)}{(0.63x500)^2} \times \frac{1}{1,000} = 510.8 \text{ ตัน}$$

ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ขยายหาได้จากสมการ (10-7)

$$\delta_b = \frac{C_m}{1-(P_u/\phi P_c)}$$

ในที่นี้ $C_m = 1$ เนื่องจากเสาโก่งแบบโค้งเดียว และโมเมนต์ที่ปลายเสาทั้งสองข้างมีขนาดเท่ากัน อันเนื่องมาจากการที่โครงมีสมมาตร 2 แกน และให้ค่าตัวประกอบลดกำลัง ϕ เป็นหนึ่ง ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ขยายจะกลายเป็น

$$\delta_b = \frac{1}{1-(P_u/P_c)}$$

ค่าโมเมนต์ในเสาหาได้จากสมการ (10-6) แต่เนื่องจากในกรณีนี้ค่า M_{2s} เป็นศูนย์ ดังนั้น

$$M_c = \delta_b M_{2b}$$

$$= \delta_b P_u \cdot e$$

$$= \frac{P_u \cdot e}{1-(P_u/P_c)}$$

ในการหากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาหาได้โดยวิธีลองถูกลองผิด เช่น ถ้าเราลองให้น้ำหนักบรรทุกเป็น 190 ตัน จะได้ค่าโมเมนต์ในเสาเป็น 15.1 ตัน-เมตร ซึ่งน้อยกว่าความต้านทานโมเมนต์ที่น้ำหนักบรรทุก 190 ตัน คือ 15.2 ตัน-เมตร เมื่อทำการลองถูกลองผิดต่อไปจะพบว่า กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาจะเป็น 190.5 ตัน ซึ่งให้ค่าโมเมนต์ในเสาเป็น 15.2 ตัน-เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับความต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดพอดี ค่าโมเมนต์ต้านทานของหน้าตัดเสาที่ระดับน้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ ซึ่งใช้ในการพลอตเส้นโค้งปฏิกิริยาระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ ทั้งภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น และภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลานาน ได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.1 สำหรับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครง BF20-B1AH-40 จากวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอมีค่าเป็น 193.9 ตัน

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาในโครงอื่น ๆ ก็สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีเดียวกัน การเปรียบเทียบเป็นตัวเลขได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.4, 5.5, 5.7 และ 5.8 ตัวเลขเหล่านี้ได้นำมาพลอตเปรียบเทียบกันในรูปที่ 5.98 และ 5.99 เนื่องจากในโครงชุดหนึ่งซึ่งทำนายโดยวิธีที่เสนอโดย ACI 318-83 ได้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากันมีหลายโครง ดังนั้น ในการพลอตโครงแต่ละชุดจะพลอตเฉพาะค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดเท่านั้น ค่าระหว่างนั้นแสดงโดยเส้นทึบเชื่อมค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด สำหรับโครงที่การวิบัติเกิดขึ้นในเสาก่อนจะพลอตเป็นจุดทึบ ในขณะที่โครงที่การวิบัติเกิดขึ้นในคานก่อนจะพลอตด้วยจุดโปร่ง จุดสี่เหลี่ยม, สามเหลี่ยมและวงกลมแทนโครงที่รับน้ำหนักระยะเวลาสั้น, บรรทุกค้าง 40% และบรรทุกค้าง 60% ตามลำดับ เส้น 45 องศาที่ลากขึ้นมา แสดงถึงแนวที่ค่าจากวิธีวิเคราะห์ที่เสนอมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากวิธีของ 318-83 ถ้าจุดอยู่สูงกว่าเส้นนี้จะมีความหมายว่าค่าจากวิธีวิเคราะห์มีค่ามากกว่า แต่ถ้าจุดอยู่ต่ำกว่าเส้นนี้ แสดงว่าค่าที่ทำนายโดยวิธีของ ACI 318-83 มีค่ามากกว่าวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอ

5.7.1 เสาในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง

จากรูปที่ 5.98 พบว่าในกรณีที่การวิบัติของโครงเกิดขึ้นในเสาก่อนนั้น ค่าจากการวิเคราะห์ที่เสนอมีค่าสูงกว่า ค่าจากวิธีที่เสนอโดย ACI 318-83 ยกเว้นโครงที่รับน้ำหนักบรรทุกค้าง ซึ่งเสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 และมีค่าความเฉศูนย์ที่ระบุเป็น 0.091 ค่าจากการวิเคราะห์จะใกล้เคียงกับค่าจากวิธีของ ACI 318-83 แต่ต่ำกว่าเล็กน้อย สำหรับโครงที่การวิบัติเกิดขึ้นในคานก่อนนั้น กำลังรับน้ำหนักของเสาจะขึ้นอยู่กับความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานเป็นอย่างมาก แต่วิธีของ ACI มิได้พิจารณาถึงผลอันนี้ ทำให้ในบางกรณีค่าจากการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่าจากวิธีของ ACI มาก จากแนวโน้มของจุดในรูปที่ 5.98 พบว่าถ้าโครงเกิดการวิบัติในเสาก่อนแล้ว โครงที่มีอัตราส่วนความชะลูดมากกว่า 10 และมีค่าความเฉศูนย์มากกว่า 0.091 ค่าจากวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอ ควรจะสูงกว่าค่าจากวิธีของ ACI 318-83 สรุปได้ว่าในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างนั้น ถ้าคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์มากเกินพอที่จะทำให้โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อนแล้ว ค่าจากวิธีวิเคราะห์ที่เสนอจะให้ค่าสูงกว่า ค่าจากวิธีของ ACI 318-83 ยกเว้นกรณีโครงที่รับน้ำหนักบรรทุกค้างที่เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 และมีค่าความเฉศูนย์ที่ระบุเป็น 0.091

5.7.2 เสาในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง

จากรูปที่ 5.99 พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาจากวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอ จะมีค่าสูงกว่าค่าจากวิธีของ ACI 318-83 กล่าวคือในโครงที่การวิบัติเกิดในเสาก่อนนั้น ค่าจากการวิเคราะห์จะมีค่าสูงกว่าค่าจากวิธีของ ACI 318-83 เสมอ ยกเว้นกรณีโครงที่รับน้ำหนักบรรทุกค้าง ที่เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 ค่าจากวิธีวิเคราะห์ที่เสนอจะต่ำกว่าวิธีของ ACI 318-83 เล็กน้อย ในกรณีที่โครงเกิดการวิบัติในคานก่อน กำลังรับน้ำหนักของเสาขึ้นอยู่กับความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานมาก แต่วิธีของ ACI มิได้พิจารณาถึงผลอันนี้ ทำให้ในบางกรณีค่าจากการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่าจากวิธีของ ACI มาก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.8 สรุปผลการวิเคราะห์

ในการศึกษาผลกระทบของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้น้ำหนักบรรทุกค้างนั้น ได้พิจารณาโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ซึ่งรับน้ำหนักในลักษณะที่ทำให้เสาโก่งแบบโค้งเดียว ในขณะที่โครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้างรับแรงกระทำทางด้านข้าง ซึ่งผลที่สรุปจะอยู่ในขอบเขตของข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์เท่านั้น

เมื่อโครงต้องรับน้ำหนักบรรทุกเป็นระยะเวลานาน ความสามารถต้านทานโมเมนต์และสติฟเนสของเสาจะมีค่าลดลงมากกว่าในคาน การลดลงของความสามารถต้านทานโมเมนต์และสติฟเนสของหน้าตัดคาน จะขึ้นกับค่าเปอร์เซนต์เหล็กเสริม แต่ไม่ขึ้นกับขนาดหน้าตัดคานและอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของคานเลย

พฤติกรรมของเสาในโครงทั้งที่มีการยึด และไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ทั้งในกรณีที่รับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น และกรณีที่รับน้ำหนักบรรทุกค้าง ได้แสดงไว้ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับโมเมนต์ ในรูปที่ 5.5 - 5.40 และ 5.51 -5.86 พบว่าสติฟเนสของเสาจะลดลงเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น หรือเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกค้าง การลดลงของสติฟเนสของเสาจะมากขึ้น เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น และเมื่อเสามีค่าการโก่งตัวทางด้านข้างเพิ่มขึ้น โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการโก่งตัวทางด้านข้าง ได้รับผลกระทบจากปัจจัยเดียวกับที่มีผลต่อค่าสติฟเนสของเสา และเมื่อค่าโมเมนต์ที่เกิดจากการโก่งตัวทางด้านข้างมากขึ้น จะมีแนวโน้มให้เสามีสติฟเนสลดลง

เสาในโครงที่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง (รูปที่ 5.5 - 5.40) การเพิ่มของโมเมนต์ที่เกิดจากการโก่งตัวทางด้านข้างของเสา จะทำให้อัตราการเพิ่มของโมเมนต์ที่ปลายเสามีค่าลดลง ค่าโมเมนต์สูงสุดที่กึ่งกลางเสาจะเพิ่มขึ้น หรือลดลงก็แล้วแต่ว่า ผลจากการโก่งตัวทางด้านข้าง หรือผลจากโมเมนต์ที่ปลายเสาจะมีมากกว่ากัน ถ้าผลจากการโก่งตัวทางด้านข้างมีมากกว่า ค่าโมเมนต์สูงสุดที่กลางเสาจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อผลจากอัตราการเพิ่มที่ลดลงของโมเมนต์ที่ปลายเสามีมากกว่า ค่าโมเมนต์สูงสุดก็จะมีค่าลดลงในโครงที่รับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น ค่าโมเมนต์สูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเสมอ เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นแต่ในโครง

ที่รับน้ำหนักบรรทุกค้าง ทั้งเสาและคานต่างก็มีสติฟเนสลดลงไปตามเวลา เนื่องมาจากการคืบที่เกิดขึ้น เนื่องจากผลของการคืบที่มีต่อการลดลงของสติฟเนสในเสามีมากกว่าในคาน ทำให้อัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานมีค่าลดลง เมื่อโครงรับน้ำหนักบรรทุกค้าง โครงมีแนวโน้มที่จะกระจายโมเมนต์ไปสู่คานมากขึ้น ซึ่งจะยังผลให้ค่าโมเมนต์บวกสูงสุดที่กึ่งกลางคานมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่โมเมนต์ที่จุดต่อของเสากับคานมีค่าลดลง โดยส่วนใหญ่แล้ว ค่าโมเมนต์สูงสุดที่กึ่งกลางเสาจะมีค่าลดลงจากเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นที่ระดับน้ำหนักบรรทุกเดียวกัน ผลของโมเมนต์ที่ปลายเสาจะลดน้อยลง เมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดและค่าความเฉศูนย์ที่ระบุเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าโก่งตัวทางด้านข้างของเสามีค่าเพิ่มขึ้นเสมอ แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างรวดเร็วภายหลังการรับน้ำหนักบรรทุกค้างเป็นเวลา 25 ปี ผลของการโก่งตัวทางด้านข้างของเสาจะมีมากกว่า จึงทำให้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่กึ่งกลางเสามีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง โดยยกเว้นโครงที่เสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 และมีค่าความเฉศูนย์ที่ระบุเป็น 0.091 ซึ่งผลจากการลดลงของโมเมนต์ที่ปลายเสามีมากกว่า เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของคาน ซึ่งให้ค่าสติฟเนสของหน้าตัดเท่ากัน แต่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกทั้งหมดของคาน และปริมาณเหล็กเสริมในคานต่างกัน พบว่าเมื่อคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์มากเกินพอที่จะทำให้การวิบัติเกิดในเสาก่อนแล้ว คุณสมบัติของคานจะไม่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสา แต่ถ้าการวิบัติเกิดในคานก่อน คุณสมบัติของคานจะมีผลต่อพฤติกรรมของโครงเฉพาะ เมื่อโครงใกล้เกิดการวิบัติกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาจะขึ้นกับคุณสมบัติของคาน ในรูปของความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานเป็นอย่างมาก ผลของความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคาน จะมีมากขึ้นภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกค้าง เนื่องจากมีการกระจายโมเมนต์จากเสาไปสู่คานมากขึ้น ในขณะที่ความสามารถต้านทานโมเมนต์ของคานมีค่าลดลง การวิบัติของโครงภายใต้น้ำหนักบรรทุกระยะเวลานาน จึงมักเกิดขึ้นที่กึ่งกลางคานก่อน ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.4 และ 5.5

ในโครงที่ไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง (ดูรูปที่ 5.51 - 5.86) ผลของการโก่งตัวทางด้านข้าง และผลของการรับน้ำหนักบรรทุกค้าง จะทำให้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่ปลายเสามีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะมีผลมากขึ้นเมื่อเสามีอัตราส่วนความชะลูดเพิ่มขึ้น ในโครงซึ่งเสามีความชะลูดเท่ากัน มีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน และหน้าตัดคานมีสติฟเนสเท่ากัน พบว่า พฤติกรรมของเสาจะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของคานจนกระทั่ง โครงเกิดการวิบัติซึ่งขึ้นกับความ

สามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานหรือเสา ถ้าคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์มากเกินพอที่จะทำให้โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน คุณสมบัติของคานจะไม่มีผลต่อพฤติกรรม และกำลังรับน้ำหนักของเสาเลย แต่ถ้าการวิบัติเกิดในคานก่อน อิทธิพลของคานจะแสดงออกในรูปของความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานเท่านั้น โดยจะไม่กระทบกระเทือนต่อพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสา แต่จะทำให้เสามีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกลดลงเมื่อคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลง กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.7 และ 5.8

เมื่อพิจารณาถึงผลของกำลังรับน้ำหนักของเสาทั้งในโครงที่มีการยึด และไม่มีการยึดป้องกันการเซทางด้านข้าง ภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกค้าง พบว่าเสาจะมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกต่ำกว่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้นเสมอ และในบางโครงการวิบัติเกิดขึ้น ระหว่างการรับน้ำหนักบรรทุกค้างนั่นเอง จากข้อมูลที่วิเคราะห์พบว่า ในบางกรณีเสามีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลานานต่ำกว่า 40% ของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลาสั้น เสาที่รับน้ำหนักบรรทุกค้างมากกว่า หากไม่เกิดการวิบัติระหว่างการรับน้ำหนักบรรทุกค้างแล้ว เสามีแนวโน้มที่จะมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกต่ำกว่าเสาที่รับน้ำหนักบรรทุกค้างต่ำกว่า คุณสมบัติของคานจะไม่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสา ถ้าโครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน แต่ถ้าโครงเกิดการวิบัติในคานก่อนแล้ว กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาจะลดลงเมื่อคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ลดลง

สำหรับโครงลักษระเดียวกัน คือ โครงมีอัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคานเท่ากัน เสามีอัตราส่วนความชะลูดเท่ากัน รับน้ำหนักบรรทุกในลักษณะเดียวกัน คานมีสติฟเนสของหน้าตัดเท่ากัน ขณะที่คานมีเปอร์เซนต์เหล็กเสริม และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกต่างๆ เมื่อโครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสา มีค่าเกือบเท่ากัน โดยขึ้นกับคุณสมบัติของคานน้อยมาก และเมื่อพิจารณาถึงโมเมนต์ที่เกิดในคานขณะโครงเกิดการวิบัติ ก็มีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน ดังนั้น สำหรับโครงลักษณะหนึ่ง ๆ จะสามารถหาหน้าตัดคานที่มีความสามารถต้านทานโมเมนต์พอที่จะทำให้โครงเกิดการวิบัติในเสาก่อน หรือในคานก่อนได้ ค่าความสามารถต้านทานโมเมนต์ของหน้าตัดคานที่ต้องการสำหรับโครงลักษณะต่าง ๆได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.9 และ 5.10

ผลของการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอกับวิธีที่เสนอโดย ACI 318-83 พบว่า โครงที่มีการวิบัติเกิดในเสาก่อนนั้น ค่าจากวิธีของ ACI จะให้ค่าต่ำกว่า ยกเว้นในโครงที่รับน้ำหนักบรรทุกระยะเวลานาน และเสามีอัตราส่วนความชะลูดเป็น 10 ซึ่งค่าจากวิธีของ ACI มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย เมื่อคานมีความสามารถต้านทานโมเมนต์ต่ำลงโดยโครงเกิดการวิบัติในคานก่อน ในบางกรณีค่าจากวิธีของ ACI ให้ค่าสูงกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากโดยวิธีโมเมนต์ขยายนั้น กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาพิจารณาเฉพาะผลของ แรงตามแนวแกน น้ำหนักบรรทุกวิกฤตของเสา อัตราส่วนสติฟเนสสัมพัทธ์ของเสาต่อคาน และผลของการคืบ แต่มิได้พิจารณาถึงคุณสมบัติของคานในแง่ของอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกทั้งหมดของคาน และปริมาณเหล็กเสริมในคาน ซึ่งเชื่อมต่อกับเสา