

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

เสาเป็นโครงสร้างส่วนสำคัญขององค์อาคาร ทำหน้าที่รับแรงอัดหรือแรงอัดกับแรงคั่วมกัน หากเสาต้นใดวิบัติจะทำให้โครงสร้างที่ยึดต่อเนื่องชำรุดเสียหาย จนอาจทำให้โครงสร้างทั้งหมดวิบัติได้ ฉะนั้นจำเป็นต้องเข้าใจต่อพฤติกรรมของเสาเป็นอย่างดี เสาเหล็กกลวงบรรจุคอนกรีตหมายถึงเสาที่ได้จากการเทคอนกรีตเข้าไปภายในเหล็กกลวงเพื่อใช้รับแรง เสาเหล็กกลวงบรรจุคอนกรีตจัดเป็นเสาเชิงประกอบประเภทหนึ่งมีการนำมาใช้กันมากแบบหนึ่ง

1.2 ปัญหาและที่มาของโครงการ

เสาเหล็กกลวงบรรจุคอนกรีตเป็นการประยุกต์ใช้คุณสมบัติของวัสดุที่มีประสิทธิภาพได้สูงสุด เพราะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นจากการจำกัดการขยายตัวด้านข้างของเหล็ก ส่วนเหล็กถูกด้านการโก่งด้วยคอนกรีตทำให้เสามีความเหนียว(Toughness) และความแข็งแรง(Stiffness) เหล็กที่ใช้อาจเป็นท่อกลมหรือเหลี่ยมก็ได้ ประกอบกับในปัจจุบันค่าใช้จ่ายในส่วนของไม้แบบและแรงงานในการก่อสร้างมีราคาสูง เสาเหล็กกลวงบรรจุคอนกรีตเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการประกอบแบบและถอดแบบรวมทั้งงานฉาบปูนหมดไป ทำให้เวลาในการก่อสร้างน้อยลง และเสาเหล็กกลวงบรรจุคอนกรีตยังมีความเหนียวและดูดซับพลังงานได้มาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติในการต้านแรงแผ่นดินไหวได้ดี ในประเทศเรามีการนำเหล็กบาง (Light Gauge) มาบรรจุคอนกรีตใช้เป็นเสารับน้ำหนัก และความยาวที่ใช้ส่วนมากอยู่ในช่วงเสาจะสูงซึ่งการวิบัติเกิดจากการโก่งเดาะทางด้านข้าง (Instability Failure) ก่อนที่ วัสดุจะวิบัติ (Material Failure)

พฤติกรรมของเสาเหล็กกลวงบรรจุคอนกรีตมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเช่น กำลังประลัย ผลการจำกัดการขยายตัวทางด้านข้างของคอนกรีตกับรูปร่างหน้าตัด แต่เงื่อนไขของการรับน้ำหนักขึ้นกับวิธีการก่อสร้างโดยจำลองจากสภาพการใช้งานจริง ซึ่งเป็นไปได้ 3 รูปแบบคือ

- ก. น้ำหนักกระทำเฉพาะบนคอนกรีต
- ข. น้ำหนักกระทำเฉพาะบนเหล็ก
- ค. น้ำหนักกระทำบนคอนกรีตและเหล็ก

เงื่อนไขจุดการรับน้ำหนัก 3 รูปแบบมีผลต่อพฤติกรรมของเสาจะลุดเหล็กบรรจุคอนกรีตอย่างไร เป็นเรื่องที่ต้องการศึกษา

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการโก่งเคาะของเสาจะลุดเหล็กบรรจุคอนกรีตหน้าตัดจตุรัสในช่วงความชะลุดที่มีการใช้งานกันมากภายใต้เงื่อนไขจุดการรับน้ำหนัก 3 รูปแบบ ซึ่งมีที่รองรับแบบยึดหมุนโดยจะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและเปรียบเทียบกับทฤษฎีและข้อกำหนดของ AISC โดยวิธี LRFD

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของเสาเหล็กจตุรัสกลวงบรรจุคอนกรีตภายใต้เงื่อนไขจุดการรับน้ำหนัก 3 แบบคือ
 - ก. น้ำหนักกระทำเฉพาะบนคอนกรีต
 - ข. น้ำหนักกระทำเฉพาะบนเหล็ก
 - ค. น้ำหนักกระทำบนคอนกรีตและเหล็ก
- 1.3.2 ศึกษาแรงโก่งเคาะภายใต้เงื่อนไขจุดการน้ำหนักกระทำ 3 แบบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

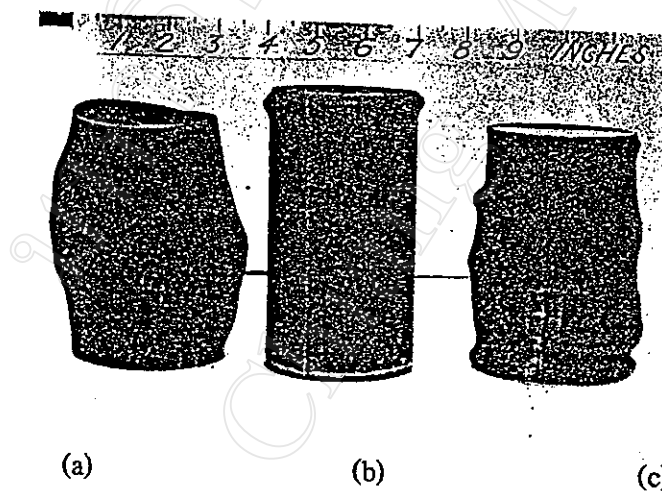
- 1.4.1 ใช้เหล็กกลวงหน้าตัดจตุรัส (Light Gauge) ขนาด 75x75x2.6mm
- 1.4.2 ใช้กำลังคอนกรีต 210 กก./ซม.² รูปทรงกระบอกใช้ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 15-2533
- 1.4.3 ใช้ที่รองรับแบบยึดหมุนทั้ง 2 ปลาย
- 1.4.4 ทดสอบการรับแรงในแนวแกนเท่านั้น

1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Gardner and Jacobson (1968) ได้ศึกษาพฤติกรรมของท่อกลมบรรจุคอนกรีต โดยทำการทดลองเสาสั้นที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 2 โดยให้น้ำหนักกระทำ 3 แบบคือ

- ก. น้ำหนักกระทำเฉพาะบนคอนกรีต
- ข. น้ำหนักกระทำเฉพาะบนเหล็ก
- ค. น้ำหนักกระทำบนเหล็กและคอนกรีต

ผลการทดสอบพบว่าเสาที่น้ำหนักกระทำบนเหล็กและคอนกรีตรับน้ำหนักได้สูงสุด โดยมีรูปแบบการวิบัติเป็นการป่องออกตรงกลางและมีรอยหยัก (Barrel Shape and Folds) เสาที่น้ำหนักกระทำเฉพาะบนคอนกรีตรับน้ำหนักได้รองลงมา โดยมีรูปแบบการวิบัติเป็นการป่องออกตรงกลางอย่างชัดเจน (Pronounced Barrel Shape) เสาที่น้ำหนักกระทำเฉพาะบนเหล็กรับน้ำหนักได้น้อยที่สุด โดยมีรูปแบบการวิบัติเป็นการโก่งเฉพาะที่ของเหล็ก (Local Buckling) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ในส่วนของเสายาวได้ทดสอบโดยให้น้ำหนักกระทำบนเหล็กและคอนกรีต โดยมีรูปแบบการวิบัติแบบโก่งเคาะ (Buckling) และได้ใช้วิธีโมดูลัสสัมผัส (Tangent Modulus) ประมาณแรงโก่งเคาะพบว่าใกล้เคียงกับผลทดสอบ



รูปที่ 1.1 รูปแบบการวิบัติ

(a) Pronounced Barrel Shape (b) Local Buckling (c) Barrel Shape and Folds

ที่มา : Gardner and Jacobson (1968)

Knowles and Park (1969) ได้ทำการศึกษากำลึงของเสาบรรจุคอนกรีตหน้าตัดกลม และจตุรัส โดยได้ทำการทดลองเสากลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.25 นิ้ว 3.5 นิ้ว และจตุรัส 3 นิ้ว X 3 นิ้ว ซึ่งมีความยาว 1 ฟุต, 2 ฟุต, 3 ฟุต, 4 ฟุต และ 5 ฟุต ทั้งหมด 18 ตัวอย่าง พบว่าคอนกรีตจะขยายตัวด้านข้างเพิ่มขึ้นเมื่อมีค่าความเครียดตามยาวประมาณ 0.002 ซึ่งเหล็กจะจำกัดการขยายตัวทางด้านข้างของคอนกรีต ความชะลุดของเสามีผลกับการจำกัดการขยายตัวทางด้านข้าง ดังนี้ ถ้าความชะลุดของแกนคอนกรีตน้อยกว่า 44.3 เหล็กจะจำกัดการขยายตัวทางด้านข้างของคอนกรีตก่อนที่จะวิบัติ ส่วนความชะลุดของแกนคอนกรีตมากกว่าหรือเท่ากับ 44.3 เสาจะโก่งคดก่อนที่จะเหล็กจะจำกัดการขยายตัวทางด้านข้างของคอนกรีต เมื่อได้ใช้วิธีโมดูลัสสัมผัส ประมาณกำลึงของเสาพบว่าถ้าความชะลุดของแกนคอนกรีตน้อยกว่า 44.3 จะให้ผลคลาดเคลื่อนกับการทดสอบ ส่วนความชะลุดของแกนคอนกรีตมากกว่าหรือเท่ากับ 44.3 ให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดสอบ

Orito et al. (1987) ได้ทำการทดลองศึกษาความสามารถในการรับแรงของเสากลมบรรจุคอนกรีตที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5.25 ได้ศึกษาผลของการไม่มีแรงยึดเหนี่ยว Unbonded Steel Tube Concrete (UTC) เปรียบกับได้ศึกษาผลของการมีแรงยึดเหนี่ยว Bonded Steel Tube Concrete (BTC) การทดลองเสากลมบรรจุคอนกรีตโดยแบ่งตัวอย่างเสาเป็น 3 แบบดังนี้

TYPE S น้ำหนักกระทำที่คอนกรีตเท่านั้นและมีสารลดแรงเสียดทานที่ผิวเหล็ก

TYPE A น้ำหนักกระทำที่เหล็กและคอนกรีต

TYPE B น้ำหนักกระทำที่คอนกรีตเท่านั้นและไม่มีสารลดแรงเสียดทานที่ผิวเหล็ก

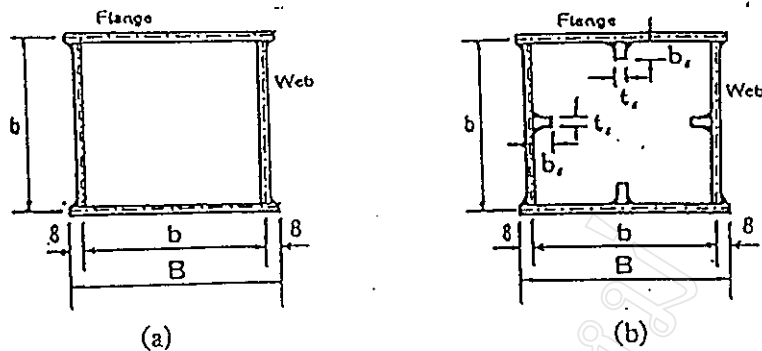
จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการรับแรงอัดได้ดี เรียงจากมากไปน้อยคือ TYPE S, TYPE B, TYPE A จากรูปแบบการวิบัติแสดงว่า BTC เกิดการส่งผ่านแรงจากคอนกรีตไปสู่เหล็ก ซึ่งจะเกิดการวิบัติโดยคอนกรีตจะถูกอัดจนแตก (Crushing) และเหล็กจะเกิดการโก่งเฉพาะที่ (Local Buckling) ส่วนใน UTC จะไม่มีการส่งผ่านแรงจากคอนกรีตไปสู่เหล็ก คอนกรีตจะถูกโอบรัดด้วยเหล็ก ซึ่งจะเกิดการวิบัติโดยคอนกรีตจะขยายตัวทางข้างมากขึ้น จนทำให้เหล็กถูกดึงจนคลาก (Tensile Yielding)

เมธี บริสุทธิ์ (2540) ได้ทำการศึกษาทดลองกำลึงอัดของเสาสั้นบรรจุคอนกรีตหน้าตัดจตุรัสที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของหน้าตัดเท่ากับ 3 ($L/D=3$) โดยทำการทดลองเสา 5 ประเภทได้แก่ เสาบรรจุคอนกรีตที่แรงอัดกระทำบนเหล็กและคอนกรีต เสาบรรจุคอนกรีตที่แรง

อัดกระทำได้คอนกรีตอย่างเดียวย โดยมีสารพัดแรงเสียดทานภายในและไม้ทา เสาเหล็กกลวงไม่บรรจุคอนกรีตและเสาคอนกรีตจตุรัส ผลการศึกษาพบว่าเสาที่รับแรงอัดได้ค้ำรับแรงล้าดับจากมากไปน้อยคือเสาบรรจุคอนกรีตที่แรงอัดกระทำบนเหล็กและคอนกรีต เสาบรรจุคอนกรีตที่แรงอัดกระทำบนคอนกรีตอย่างเดียวย โดยไม่ทาสารลดแรงเสียดทาน และทาสารลดแรงเสียดทาน เสาคอนกรีตจตุรัสและเสาเหล็กกลวงไม่บรรจุคอนกรีต แสดงว่าคอนกรีตช่วยการด้านการโก่งตัวเข้าของเหล็ก ส่วนเหล็กทำหน้าที่การรับแรงอัดได้ดีกว่าการเป็นตัวจำกัดการขยายตัวทางด้านข้างให้กับคอนกรีต เนื่องจากเหล็กจะบิดโดย แรงคด (Bending) ตามแนวขวางบริเวณจุดกึ่งกลางของทั้งสี่ด้าน

Zhong and Miao (1987) ได้เสนอผลงานวิจัยเพื่อที่จะเป็นแนวทางที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดของเสาสั้นกลมบรรจุคอนกรีต โดยทำการทดสอบเสากลมบรรจุคอนกรีต ตัวอย่างจำนวน 45 ตัวอย่างที่มีค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/d ratio) ต่าง ๆ ได้แก่ 2.2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 ใช้ค่าอัตราส่วนพื้นที่เหล็กต่ออัตราส่วนพื้นที่คอนกรีต (steel ratio) เท่ากับ 0.115 และ 0.211 ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบจากความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (Stress – Strain Relationship) ของเสากลมบรรจุคอนกรีต พบว่าค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/d ratio) ที่เหมาะสมคือ ระหว่าง 3 ถึง 3.5 เพราะว่าค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/d ratio) ที่น้อยกว่า 2 จะมีผลจากเงื่อนไขที่ปลาย (End Effect) ถ้ามามากกว่า 4 ความสามารถในการรับน้ำหนักได้น้อยลงเมื่อมีความเครียดเท่ากับ 8-12 % นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง ซึ่งใช้ค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/d ratio) เท่ากับ 3.12 โดยกำหนดเงื่อนไขที่ปลาย (End Effect) ต่าง ได้แก่ แบบ Knife Hinge ที่ปลายทั้งสองข้าง Knife Hinge ที่ปลายบนและ Plate Hinge ที่ปลายล่าง Spherical Hinge ที่ปลายหนึ่งและ Plate Hinge ที่ปลายหนึ่ง และ Plate Hinge ที่ปลายทั้งสอง พบว่า เงื่อนไขที่ปลาย (End Condition) ที่มีความสะดวกที่สุดที่ใช้ทดสอบและให้ผลที่ถูกต้องซึ่งแนะนำให้ใช้คือ Plate Hinge ที่ปลายทั้งสองข้าง

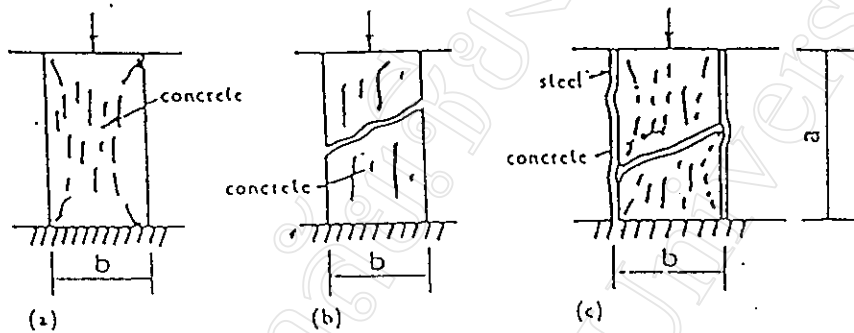
Ge and Usami (1992) ได้ทดสอบกำลังอัดของเสาสั้นเหล็กบางบรรจุคอนกรีต (Concrete Filled Thin Walled Steel Box Column) แบ่งเป็นเสาเหล็กกลวง (Steel Box Column) และเสาเหล็กบรรจุคอนกรีต (Concrete-Filled Steel Box Column) และภายในเสามีแผ่นเหล็กเสริมกำลังและไม่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง มีลักษณะดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 รูปแบบหน้าตัดเสา (a) ไม่มีแผ่นเหล็กเสริม (b) มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง
ที่มา : Ge and Usami (1992)

จากผลการทดสอบเสาเหล็กกล่อง (Steel Box Column) ซึ่งประกอบด้วย เสาเหล็กกล่องไม่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Unstiffened Steel Box Column) และ เสาเหล็กกล่องมีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffened Steel Box Column) พบว่า เสาเหล็กกล่องมีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffened Steel Box Column) รับแรงอัดได้มากกว่า เสาเหล็กกล่องไม่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Unstiffened Steel Box column) ประมาณ 2 เท่า แสดงว่าแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Longitudinal Stiffener) มีผลมากในการต้านทานการโก่งเฉพาะที่ (Local Buckling) ของ Plate Panel ในเสาเหล็กกล่อง (Steel Box Column) ส่วนการทดสอบเสาเหล็กบรรจุคอนกรีตพบว่าเสาเหล็กบรรจุคอนกรีตและมีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffened Concrete-Filled Steel Box Column) จะมีความสามารถในการรับแรงอัดได้มากกว่าเสาเหล็กบรรจุคอนกรีตไม่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Unstiffened Concrete-Filled Steel Box Column) ประมาณ 1.5 เท่า เนื่องจากแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffener) จะช่วยต้านทานการเกิดการโก่งเฉพาะที่ (Local Buckling) ของ Plate Panel และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffener) ทำให้คอนกรีตช่วยต้านทานการโก่งเฉพาะที่ (Local Buckling) ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffener) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบของ เสาเหล็กกล่อง (Steel Box Column) และเสาเหล็กบรรจุคอนกรีต (Concrete-Filled Steel Box Column) พบว่าที่ก้ำกึ่งสูงสุดของเสาเหล็กกล่อง (Steel Box Column) มีค่าความเครียดเท่ากับ 0.002 ส่วนที่ก้ำกึ่งสูงสุดของเสาเหล็กบรรจุคอนกรีต (Concrete-Filled Steel Box Column) มีค่าความเครียดเท่ากับ 0.004 และที่ก้ำกึ่งสูงสุดของเสาเหล็กบรรจุคอนกรีตจะสูงกว่าที่ก้ำกึ่งสูงสุดของเสาเหล็กกล่องมากเนื่องจากมีความสามารถในการกระจายแรงไปสู่คอนกรีต ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเสาเหล็กบรรจุคอนกรีต (Concrete-Filled Steel Box Column) จะมีประสิทธิภาพทางด้านการรับแรงอัดและความเหนียวได้ดีกว่าเสาเหล็กกล่อง (Steel Box Column) นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการเกิดรอย

แตกร้าวของตัวอย่างต่างๆ ไว้ดังรูปที่ 1.3 โดยตัวอย่างของแท่งคอนกรีตจะเกิดรอยร้าวในลักษณะแตกแยกออก (Splitting) หรือเกิดรอยแตกร้าวในลักษณะรอยแยกในแนวเฉียง (Sliding) ส่วนตัวอย่างของเสาเหล็กบรรจุคอนกรีต (Concrete-Filled Steel Box Column) ใช้แก๊สตัดเหล็กเปิดดูภายในพบว่าคอนกรีตเกิดการแตก (Crushing) ในลักษณะที่คอนกรีตส่วนที่ติดกับ Plate จะเกิดการแตกหักอย่างมากแต่ส่วนคอนกรีตด้านในจะไม่เกิดความเสียหาย แสดงว่า Plate เกิดโก่งเฉพาะที่ (Local Buckling) ภายหลังกอนกรีตเกิดการแตก (Crushing)



รูปที่ 1.3 การเกิดรอยแตกร้าวของเสาสั้น

- (a) รอยแตกร้าวแบบแตกแยกออก
- (b) รอยแยกในแนวเฉียง
- (c) รอยแตกร้าวของเสาเหล็กบรรจุคอนกรีต

ที่มา : Ge and Usami (1992)

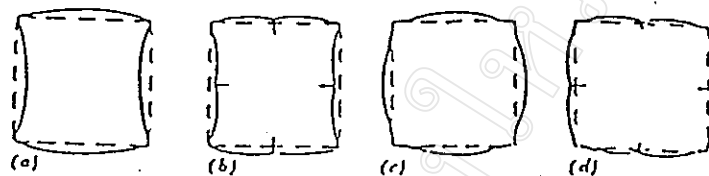
รูปแบบการโก่งเดาะ (Buckling) ของ Plate Panel หลังจากตัวอย่างเกิดความเสียหายจะมีลักษณะดังรูปที่ 1.4

แบบ (a) เสาเหล็กกลวงไม่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Unstiffened Steel Column) จะเกิดการโก่งตัวของ Plate โกงออกที่หน้าตัดตรงข้ามกันคู่หนึ่ง ส่วนอีกคู่หนึ่งจะเกิดการโก่งเข้า

แบบ (b) เสาเหล็กกลวงมีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffened Steel Column) จะมีลักษณะการโก่งตัวของ Plate คล้ายกับแบบ (a) แต่จะไม่เกิดการโก่งตัวของ Plate บริเวณที่มี แผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffener)

แบบ (c) เสาเหล็กบรรจุคอนกรีตและ ไม่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Unstiffened Concrete-Filled Column) จะเกิดการโก่งออกด้านนอกของ Plate ทั้งหมด ซึ่งเกิดจากการที่คอนกรีตที่บรรจุอยู่ภายใน จะทำหน้าที่เป็นตัวยึดกันไม่ให้ Plate เกิดการโก่งตัวเข้า

แบบ (d) เสาเหล็กบรรจุคอนกรีตและมีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffened Concrete-Filled column) จะเกิดการโก่งออกด้านนอกของ Plate ทั้งหมด แต่จะเกิดการโก่งตัวน้อยกว่าแบบ (c) โดยเหล็กเสริมกำลัง (Stiffener) จะทำหน้าที่ต้านทานการโก่งตัวได้อย่างมาก



รูปที่ 1.4 รูปแบบการ โกงเคาะ (Buckling) ของ Plate Panel

- (a) เสาเหล็กกลวงไม่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Unstiffened Steel Column)
- (b) เสาเหล็กกลวงมีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffened Steel Column)
- (c) เสาเหล็กบรรจุคอนกรีตและไม่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Unstiffened Concrete-Filled Column)
- (d) เสาเหล็กบรรจุคอนกรีตและมีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง (Stiffened Concrete-Filled Column)

ที่มา : Ge and Usami (1992)

Shams and Saadeghvaziri (1997) ได้สรุปข้อมูลและผลการศึกษาเสาบรรจุคอนกรีตในปัจจุบัน (State of the art of concrete-Filled tube columns) ไว้ดังนี้ คอนกรีตจะทำหน้าที่ป้องกันการเกิดการ โกงตัวเข้า (Inward Buckling) ของเหล็ก ขณะที่เหล็กจะทำหน้าที่จำกัดการขยายตัวทางด้านข้างของคอนกรีต เมื่อเสาบรรจุคอนกรีตถูกน้ำหนักกระทำน้อยๆ ค่าอัตราส่วนปัวซองของคอนกรีตต่ำกว่าค่าอัตราส่วนปัวซองของเหล็ก ดังนั้นเหล็กจะไม่ได้จำกัดการขยายตัวทางด้านข้างของคอนกรีต จนเมื่อน้ำหนักกระทำมากขึ้นจะเกิดการขยายปริมาตรตัวด้านข้างของคอนกรีต ที่ภาวะนี้คอนกรีตจะถูกจำกัดการขยายตัวทางด้านข้างด้วยเหล็ก ดังนั้นกำลังและเสถียรภาพของเสาจะสูง

Tomii (1977) ได้ทำการทดสอบศึกษาผลของ รูปร่างหน้าตัด อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของเหล็ก (Aspect Ratio) และความขรุขระที่มีผลต่อกำลังของเสา โดยทำการทดสอบเสา 286 ต้นภายใต้แรงในแนวแกนแบ่งเป็นเสากลม เสาสี่เหลี่ยมจัตุรัส และเสาแปดเหลี่ยม ด้วยความหนาของเหล็กที่ใช้แตกต่างกัน 6 ขนาด พบว่าในเสาต้นจะวิบัติด้วยการแตกของ

คอนกรีต (Crushing) เสาอาจจะวิบัติโดยการโก่งเดาะ (Buckling) อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาของเหล็ก (Aspect Ratio) ความขรุขระ รูปร่างหน้าตัด มีผลต่อกำลังประลัยของเสา ในเสากลม การจำกัดการขยายตัวทางด้านข้าง มีผลกับกำลังประลัยมากกว่าเสารูปจัตุรัส

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University