บทที่3

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลทดสอบ

ในการออกแบบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กหรือที่เรียกว่าผนังรับแรงเฉือน(Shear walls)นั้นจะต้องออกแบบให้รับแรงด้านข้างทั้งแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ซึ่งจะต้องมีกำลัง(Strength)และสติฟเนสด้านข้าง(Lateral stiffness)ที่เพียงพอต่อแรงด้านข้างที่กระทำ และสำหรับการออกแบบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในเขตแผ่นดินไหวนั้น ความสามารถในการกระจายพลังงาน(Energy Dissipation Capacity)ของกำแพงนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก ดังนั้นปัจจัยสำคัญต่างๆที่มีผลต่อพฤติกรรมแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic Behavior)ซึ่งประกอบด้วย กำลัง,สติฟเนสด้านข้างและความสามารถในการกระจายพลังงาน สามารถอธิบายได้ด้วยโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ส่วนบนสุดของกำแพง

ดังนั้นในบทนี้จะเป็นการนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ซึ่งอยู่ในรูปของโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง, โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน,โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริมและโค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม มาทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อพฤติกรรมของกำแพง โดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์

3.1 แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองวัสดุที่ใช้ในการศึกษาจะแบ่งออกเป็นแบบจำลองวัสดุของคอนกรีตและเหล็กเสริม ในแบบจำลองวัสดุของคอนกรีตสามารถแบ่งอีกเป็น ฟังก์ชันหน่วยแรงตั้งฉากซึ่งแยกเป็นคอนกรีตใน Web และคอนกรีตใน Boundary Elements และฟังก์ชันหน่วยแรงเฉือน ส่วนแบบจำลองวัสดุของเหล็กเสริมแบ่งได้เป็น เหล็กเสริมใน Web และเหล็กเสริมใน Boundary Elements ดังแสดงในตารางที่ 3.1และ3.2

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้าง

จากโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ส่วนบนสุดของตัวอย่างวิเคราะห์ที่1,2 ดังแสดงในรูปที่ 3.1และ3.2 จะเห็นได้ว่า จะมีลักษณะอ่อนตัวลงเมื่อแรงกระทำด้านข้างมีค่าเข้าใกล้ศูนย์และมีลักษณะคอดตรงกลาง (Pinching) เกิดขึ้น เนื่องจากมีการเสียรูปในลักษณะของแรงเฉือนภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบเป็นวัฏจักร ซึ่งจะทำให้กำแพงมีสติฟเนสน้อยเมื่อแรงเฉือนหรือแรงด้านข้างที่กระทำมีค่าเข้าใกล้ศูนย์และจะมีสติฟเนสเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสียรูป(Deformation)เพิ่มมากขึ้น ส่วนในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3,4 โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเคลื่อนที่ด้านข้างที่ส่วนบนสุดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3และ3.4 ซึ่งแสดงถึง

พฤติกรรมของกำแพงที่มีความเหนียว (Ductile Behavior) อย่างชัดเจน โดยสังเกตได้จากการที่กำลังในการรับน้ำหนักของกำแพงไม่ลดลงมากในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ พบว่าแรงด้านข้างสูงสุดที่กระทำของตัวอย่างที่ 1 และ 3 จะมีค่าที่ต่างจากผลการทดสอบมากกว่า ค่าที่ได้ของตัวอย่างที่ 2 และ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณเหล็กเสริมมีผลต่อแรงด้านข้างสูงสุดที่กระทำ

ในการเปรียบเทียบเมื่อใช้ปริมาณเหล็กเสริมทแยงต่างกันที่คุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมรวมทั้งเหล็กใน Boundary Elements เหมือนกัน พบว่าแรงกระทำด้านข้างสูงสุดลดลงอย่างชัดเจนเมื่อลดจำนวนเหล็กเสริมเป็น 0.5 เท่าของเหล็กเสริมปกติ แต่จะไม่เห็นชัดเจนในการเพิ่มขึ้นของแรงกระทำด้านข้างสูงสุดเมื่อเพิ่มจำนวนเหล็กเสริมเป็น 2 เท่าของเหล็กเสริมปกติ อย่างไรก็ตามจะแสดงลักษณะคอดตรงกลาง (Pinching) เมื่อลดจำนวนเหล็กเสริม และแสดงถึงพฤติกรรมของกำแพงที่มีความเหนียว (Ductile Behavior) เมื่อเพิ่มจำนวนเหล็กเสริมอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.3 ความสามารถในการกระจายพลังงาน

จากรูปที่ 3.8 ถึง3.11 จะเห็นได้ว่า ก่อนที่เหล็กเสริมรับแรงดัดใน Boundary Element จะเกิดการคราก การกระจายพลังงานของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดมีค่าน้อยมาก และหลังจากที่เหล็กเสริมรับแรงดัดใน Boundary Element เกิดการครากไปแล้ว ค่าการกระจายพลังงานของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจะเพิ่มสูงขึ้น โดยตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างทดสอบที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนกระจายในแนวทแยง จะมีความสามารถในการกระจายพลังงานสูงที่สุด ส่วนในตัวอย่างวิเคราะห์ที่1,2 ซึ่งเป็นตัวอย่างทดสอบที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนกระจายอยู่ในแนวนอนและแนวดิ่งตามปกติ จะมีความสามารถในการกระจายพลังงานต่ำ

ในการเปรียบเทียบเมื่อใช้ปริมาณเหล็กเสริมทแยงต่างกันที่คุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริมรวมทั้งเหล็กใน Boundary Elements เหมือนกัน พบว่าความสามารถในการกระจายพลังงานจะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อลดจำนวนเหล็กเสริมเป็น 0.5 เท่าของเหล็กเสริมปกติ และจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มจำนวนเหล็กเสริมเป็น 2 เท่าของเหล็กเสริมปกติ ดังแสดงในรูปที่ 3.11

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือน

การเสียรูปด้วยแรงเฉือนหรือ Shear Distortion ในบริเวณส่วนล่างของตัวอย่างทดสอบสามารถที่จะหาได้จากการเคลื่อนที่ของจุดที่อยู่ที่มุมทั้งสี่ของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งอยู่ในบริเวณกำแพงส่วนล่าง โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและการเสียรูปด้วยแรงเฉือนของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.13

ถึง 3.16 จากโค้งความสัมพันธ์ที่ได้จะเห็นได้ว่า ในตัวอย่างทดสอบที่ 1 และ 2 โค้งความสัมพันธ์จะมีลักษณะของ Pinching เกิดขึ้นมาก และในตัวอย่างวิเคราะห์ที่1 จะมีการเสียรูปด้วยแรงเฉือนหรือมี Shear Distortion มากที่สุด ส่วนในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3และ4 โค้งความสัมพันธ์จะมีลักษณะของ Pinching เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และมี Shear Distortion น้อยกว่าในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 และ 2 ซึ่งผลอันนี้สามารถแสดงให้เห็นว่า เหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวทแยงมีประสิทธิผลอย่างมากในการช่วยลดการเสียรูปในลักษณะของแรงเฉือน และยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการกระจายพลังงานให้ดีขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ พบว่าทุกตัวอย่างจะมีการเสียรูปด้วยแรงเฉือนที่สูงกว่าผลการทดสอบ และจะมีลักษณะที่สมมาตรของการเสียรูปด้วยแรงเฉือนมากกว่าด้วย

3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดในเหล็กเสริม

โค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดัดที่อยู่ใน Boundary Element และเหล็กเสริมรั แรงเฉือนที่อยู่ในกำแพง (Web) ของตัวอย่างวิเคราะห์ทั้งหมดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.17 ถึง 3.20

จากโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดัดที่อยู่ใน Boundary Element ของตัวอย่างวิเคราะห์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่าหลังจากที่ตัวอย่างทดสอบได้รับแรงด้านข้างแบบเป็นวัฏจักรกระทำจนกระทั่งเหล็กเสริมรับแรงดัดใน Boundary Element เริ่มเกิดการคราก และเมื่อตัวอย่างทดสอบกลับมาอยู่ในช่วงที่ไม่มีแรงด้านข้างกระทำหรือแรงด้านข้างที่กระทำเป็นศูนย์ (Unload) จะพบว่าในเหล็กเสริมรับแรงดัดจะมีหน่วยการยืดตัวหรือ Tensile strain เหลือค้างอยู่ ซึ่งก็หมายความว่ารอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นใน Boundary Element บริเวณด้านล่างของตัวอย่างทดสอบยังปิดไม่สนิทในช่วงที่ไม่มีแรงด้านข้างกระทำหลังจากที่เหล็กเสริมรับแรงดัดเริ่มครากไปแล้ว

จากโค้งความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงเฉือนของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่า ความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่อยู่ในแนวนอนจะมีค่าน้อยมากในช่วงก่อนที่จะเกิดรอยแตกร้าวขึ้นในกำแพง และสำหรับตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1และ2จะพบว่าหลังจากที่เหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวดิ่งเกิดการคราก ค่าของหน่วยการยืดตัว(Tensile strain) ที่เกิดขึ้นในตัวอย่างทดสอบที่ 1 จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2 ซึ่งมีผลทำให้รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนล่างของกำแพง(Web) ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่1 มีความกว้างมากกว่าตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 2 และในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3และ4 จะเห็นได้ว่าเหล็กเสริมรับแรงเฉือนในแนวทแยงนอกจากจะมีหน่วยการยืดตัว (Tensile strain) เกิดขึ้นแล้วยังมีหน่วยการหดตัว (Compressive Strain)เกิดขึ้นด้วย ซึ่งหมายความว่า เหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่อยู่ในแนวทแยงจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดให้กับ Compressive Struts ในการถ่ายแรงเฉือนลงสู่ฐานกำแพงอย่างแน่นอน

3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดในเหล็กเสริม

โค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดัดที่อยู่ใน Boundary Element และเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่อยู่ในกำแพง (Web) ของตัวอย่างวิเคราะห์ทั้งหมดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.21 ถึง 3.24

จากโค้งความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดัดที่อยู่ใน Boundary Element พบว่าในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4 เหล็กเสริมที่อยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าฐานของกำแพงจะเกิดการครากก่อนเหล็กเสริมในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 และ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงเหล็กเสริมรับแรงดัดในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4 จะช่วยในการรับแรงกระทำมากกว่าเหล็กเสริมรับแรงดัดในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 และ 2 ในทำนองเดียวกันเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่อยู่ในกำแพง (Web) ในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4 จะเกิดหน่วยแรงอัดในขณะที่มีความเครียดอัดเกิดขึ้น ซึ่งจะช่วยในการรับแรงกระทำมากกว่าเหล็กเสริมรับแรงเฉือนที่อยู่ในกำแพง (Web) ในตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 และ 2 การทำหน้าที่ของเหล็กเสริมทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นส่วนหนึ่งในการช่วยทำให้ตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4 มีพฤติกรรมที่มีความเหนียว (Ductile Behavior) มากกว่าตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 1 และ 2

3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงด้านข้างที่กระทำและชั้นของแรงกระทำแยกเป็นแรงเฉือนในคอนกรีตและแรงเฉือนในเหล็กเสริมทแยง

แรงกระทำด้านข้างที่กระจายมาเป็นแรงเฉือน ก่อนที่เหล็กเสริมใน Boundary Element จะเกิดการคราก แรงเฉือนเฉลี่ยที่รับโดยเหล็กเสริมทแยงจะมีค่าประมาณ 1 ใน 4 และ 1 ใน 3 ของแรงกระทำด้านข้างของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4 ตามลำดับ และส่วนที่เหลือจะรับโดยคอนกรีต แต่หลังจากที่เหล็กเสริมใน Boundary Element เกิดการครากแล้วนั้น แรงเฉือนเฉลี่ยที่รับโดยเหล็กเสริมทแยงจะมีค่าประมาณ 1 ใน 3 และ 1 ใน 2 ของแรงกระทำด้านข้างของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า หลังจากที่เหล็กเสริมใน Boundary Element เกิดการครากแล้วนั้น เหล็กเสริมทแยงจะมีส่วนช่วยในการรับแรงเฉือนกระทำเพิ่มขึ้น

3.8 ผลกระทบของลักษณะบางประการนอกเหนือจากการวิเคราะห์

ลักษณะบางประการที่เกิดผลกระทบต่อตัวอย่างวิเคราะห์ทั้ง 4 ตัวอย่างได้แก่ การโก่งเดาะ (buckling) ของเหล็กเสริม ผลของแรงด้านข้างที่เพิ่มขึ้นแต่ละรอบที่มีการเคลื่อนที่ของตัวอย่างเท่ากัน (Strength stiffening) ผลของฟังชั่นหน่วยแรงเฉือนที่มีต่อตัวอย่างวิเคราะห์ทั้งแบบเสริมเหล็กแนวนอน, แนวดิ่งในกำแพงและแบบเสริมเหล็กแนวทแยงในกำแพง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ควรจะได้รับการศึกษาวิจัยต่อไป