การศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองสำหรับการออกแบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือน
A Comparison Study of Models for Reinforced Concrete Shear Wall

วุฒิภัทร รัตนะโชติวงศ์[1,*], ชานน จันทระโยธา[2], ณกร สมจิตร[3] และวัฒนชัย สมิทธากร[4]

[1,2,3,4]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

** ; E-mail address: wutthipatrattanachotiwong@gmail.com*

บทคัดย่อ

ผนังรับแรงเฉือนหรือ Shear Wall นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของการสร้างอาคารสูงเนื่องจากมีความสามารถรับแรงด้านข้าง เช่น แรงลมและแรงแผ่นดินไหว ปัจจุบันนี้ได้มีการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายประเภทรวมถึงซอฟต์แวร์ที่สามารถออกแบบผนังรับแรงเฉือนได้ด้วย เช่น โปรแกรม E-TABS โดยโครงงานนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประเภทต่างๆจากงานวิจัยในอดีต และทำการคัดเลือกสามแบบจำลองที่สามารถทำได้โดยง่ายและบ่งบอกพฤติกรรมโดยรวมของทั้งโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนเมื่อรับแรงด้านข้างได้ดีนั่นคือ แบบจำลองแบบ Frame, แบบจำลองแบบ Beam Element และแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนจากโปรแกรม E-TABS ซึ่งเรียกว่า Pier มาจำลองผนังรับแรงเฉือนที่มีหน้าตัดแตกต่างกันสามรูปแบบด้วยกันคือ Flat Wall, I-Wall และ C-Wall โดยในแต่ละรูปแบบจะทำการทดลองจำลองและวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง Frame และ Beam เทียบกับ Pier และดูผลลัพธ์รวมทั้งพฤติกรรมหลังจากรับแรงด้านข้างเพื่อระบุว่าแบบจำลองใดมีความใกล้เคียงและสามารถทดแทนแบบจำลอง Pier ได้ โดยจากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองผนังรับแรงเฉือน พบว่าแบบจำลองแบบ Beam Model มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ออกแบบผนังรับแรงกรณีที่ผนังมีรูปร่างเป็น Flat Wall ในส่วนของ Frame Model จากการวิเคราะห์ผลจากการจำลองโมเดลพบว่า Frame Model มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ออกแบบ I-Wall และใน C-Wall กรณีที่มีความสูงกว่า 30 ชั้น ซึ่งแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนจะมีความเหมาะสมในการใช้งานในเงื่อนไขที่ต่างกันขึ้นกับรูปร่างและความสูงของผนังรับแรงเฉือน

คำสำคัญ: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ผนังรับแรงเฉือน, คอนกรีตเสริมเหล็ก

Abstract

Shear wall is commonly used as components in the building construction because it has the ability to resist lateral forces, such as wind and earthquakes. Nowadays, there are various types of mathematical models and software, such as the E-TABS program, that can be used to design shear walls. This project studied various mathematical models from past research and selected three models that can easily and accurately predict the behavior of shear walls when subjected to lateral forces. These models are the Frame model, the Beam Element model, and the Pier model from the E-TABS program. The Pier model was used to simulate three different types of shear walls, which are the Flat Wall, I-Wall, and C-Shaped Wall, with different cross-sectional shapes. Each model was then analyzed and compared to determine which model can best predict the behavior of shear walls and replace the Pier model. From the comparison of the results obtained from the shear wall model, it was found that the Beam Model was suitable for designing Flat Wall. Regarding the Frame Model, the analysis of the results from the model showed that it was suitable for designing I-Wall and C-Shape Shear Wall, in the case where the C-Shape Shear Wall is higher than 30 stories. Therefore, the suitability of the shear wall model for use depends on the shape and height of the shear wall under different conditions.

Keywords: mathematical model, shear wall, reinforced concrete

บทนำ

เนื่องด้วยจากอดีตจนถึงปัจจุบัน มีการสร้างตึกหรืออาคารเกิดขึ้นมากมายเพื่อใช้ประโยชน์ไม่ว่าจะใช้เป็นห้างสรรพสินค้า สถานที่ท่องเที่ยว ใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือใช้เป็นที่อยู่อาศัยจำพวกคอนโดมิเนี่ยม หรืออาคารอพาร์ทเม้นท์ ฯลฯ ซึ่งในการสร้างตึกสูงนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการพิจารณาแรงกระทำด้านข้างเนื่องจากแรงลมหรือแรงแผ่นดินไหวและสร้างโครงสร้างที่สามารถป้องกันแรงเหล่านี้ได้ ซึ่งหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้กันก็คือการใช้ผนังรับแรงเฉือน หรือที่เรียกกันว่า Shear Wall

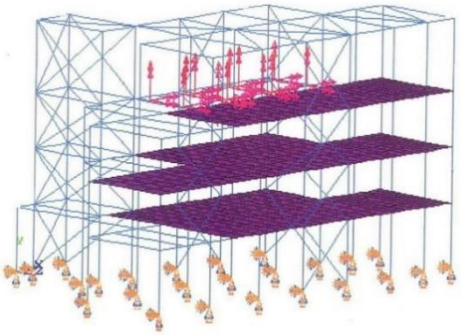
การสร้าง Shear Wall ในปัจจุบันนิยมใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบเพื่อใช้ในการก่อสร้างอาคาร ซึ่งหนึ่งในโปรแกรมที่วิศวกรโครงสร้างนิยมใช้ก็คือโปรแกรม E-TABS [1] ซึ่งสามารถจำลองโครงสร้างอาคารต่างๆและวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างได้โดยโปรแกรม E-TABS นั้นออกแบบโครงสร้างผนังรับแรงเฉือนด้วยวิธี Finite-Element Method (FEM) ที่มีความละเอียดเป็นอย่างมาก แต่ก็มีความยากในการตรวจสอบโดยการคำนวณมือ [2] จึงได้เกิดโครงงานนี้ขึ้นมาเพื่อทำการวิเคราะห์และเลือกหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายกว่ามาจำลองและเปรียบเทียบผลที่ได้ว่าแบบจำลองแบบใดให้พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างเหมือนหรือต่าง

มากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ E-TABS สร้างขึ้น โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เลือกใช้ในการเปรียบเทียบ ได้แก่ แบบจำลองแบบ Frame และแบบจำลองแบบ Beam Element จะทำการจำลองในโปรแกรม E-TABS และเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองทั้งสามแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนคือ ค่าการกระจัดที่มากที่สุดในแต่ละชั้น ของแต่ละรูปแบบหน้าตัดผนังรับแรงเฉือนทั้งหมดสามรูปแบบคือ Flat Wall, I-Wall และ C-Shaped Wall

1. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1 แบบจำลองผนังรับแรงเฉือนแบบ Finite-Element-Method (FEM)

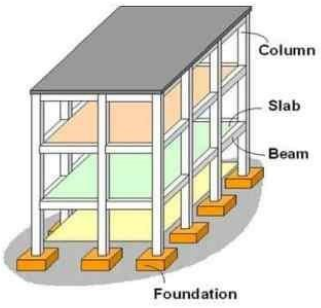
E-TABS ใช้การจำลองผนังรับแรงเฉือนซึ่งเรียกว่า Pier แบบ Finite-Element-Method (FEM) โดยหลักการคร่าวๆของ Finite Element คือ แบ่งชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กเป็น Element ย่อย (แยกเป็น Element ของเหล็กและคอนกรีต) ทำการเชื่อมต่อกันที่ Nodal Point ซึ่งจำนวนของ Element จะถูกเลือกจากระดับความแม่นยำที่ผู้ใช้งานต้องการใช้และเครื่องมือที่ใช้ในการช่วยในการการวิเคราะห์ ซึ่งวิธี FEM จะสามารถวิเคราะห์ผลของพฤติกรรมทั่วไปของโครงสร้างใน Member (เช่น การหา member forces หรือการหา displacements) และสามารถวิเคราะห์ผลของพฤติกรรมเฉพาะที่ได้ (เช่น รูปแบบรอยแตก, ค่าความเค้น ความเครียดของวัสดุ) วิธี FEM จึงได้กลายเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้าง RC รวมถึงการวิเคราะห์สามมิติและการวิเคราะห์แบบ nonlinear [1-2]



รูปที่ 1.1 แบบจำลองการคำนวณแบบ Finite-Element-Method (FEM)

1.2 แบบจำลองผนังรับแรงเฉือนแบบ Frame

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโครงสร้าง Frame เป็น Macro Modeling ที่ประกอบขึ้นด้วย พื้น, คาน, เสา, กำแพง และฐานราก ในโครงสร้างจะถ่ายแรงจากคานลงเสาแล้วจากนั้นถ่ายแรงจากเสาต่อยังฐานรากซึ่งฐานรากจะโหลดลงดิน โดยได้ทำการจำลองตึกสูงเป็น RC Frame ด้วยการสร้างคานและเสามาเชื่อมกันด้วย Rigid Continuous Joints มีการถ่ายแรงจากคานลงเสาเข้าไปที่ซัพพอร์ทด้านล่าง และตรวจดูพฤติกรรมของโครงสร้างเฟรมหลังรับแรงกระทำด้านข้างแบบ Inelastic [3] จึงนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ แต่ใช้สมมติฐานเป็นแบบ Linear Elastic

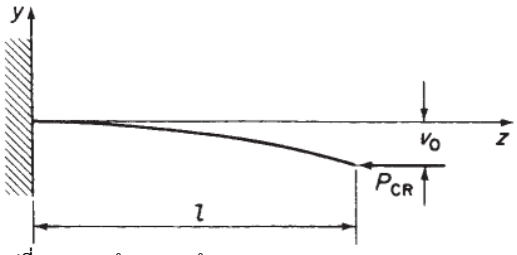


รูปที่ 1.2 แบบจำลองการคำนวณแบบ Frame

1.3 แบบจำลองผนังรับแรงเฉือนแบบ Beam Element Model

คานเป็นองค์ประกอบโครงสร้างที่ต้านทานแรงในแนวตั้งฉากกับแกนของคานเป็นหลัก (รองรับ Transverse Load) โหมดการโก่งตัวของคานคือการดัดเป็นหลัก แรงที่กระทำต่อคานส่งผลให้เกิดแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับของคาน ผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อคานคือการสร้างแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดภายในคาน ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นภายใน ความเครียด และการโก่งตัวของคาน คานมีลักษณะตามลักษณะการรองรับโปรไฟล์ (รูปร่างของหน้าตัด) สภาวะสมดุล ความยาว และวัสดุของคาน

จากการศึกษาจากหนังสือ [4] ตามทฤษฎี Simple Beam Theory จึงได้จำลองขึ้นในรูปแบบเดียวกัน คือจำลองผนังรับแรงเฉือนให้เปรียบเสมือนเป็นคาน (Beam Element) ที่มีซัพพอร์ทเป็นฟิกซ์ที่ปลายด้านหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยอิสระ (Cantilever Beam) รับแรงด้านข้างกระทำที่ปลายอิสระที่เปรียบเป็นแรงกระทำตั้งฉากกับแนวแกนของคาน พิจารณาความเค้นและการโก่งตัวเป็นแบบ Linear Elastic คือเป็นสัดส่วนกับขนาดของแรงที่กระทำ



รูปที่ 1.3 แบบจำลองการคำนวณแบบ Beam Element Model

2. Shear Wall Modeling In E-TABS

ในการจำลองแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนจะใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง E-TABS ในการจำลองและวิเคราะห์ผลลัพธ์ของแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนให้รับแรงด้านข้างตามกรณีต่างๆ โดยใช้แบบจำลองในการเปรียบเทียบทั้งหมดสามแบบจำลองได้แก่ Pier (E-TABS Model), Frame Model และ Beam Element Model ซึ่งในแบบจำลองแต่ละแบบจะจำลองรูปแบบหน้าตัดผนังรับแรงเฉือนเมื่อมองจาก Top View เป็นสามรูปแบบ ได้แก่ Flat wall (หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า), I-wall (หน้าตัดเป็นรูปตัว I) และ C-wall (หน้าตัดเป็นรูปตัว C) ซึ่งจะจำลองผนังรับแรงเฉือนที่จำนวนชั้นต่างกันเท่ากับ 10, 20 และ 30 ชั้นตามลำดับ ทำการ

ใส่แรงด้านข้างและเปรียบเทียบ Maximum Story Displacements ของแต่ละแบบจำลองในแต่ละรูปแบบหน้าตัด

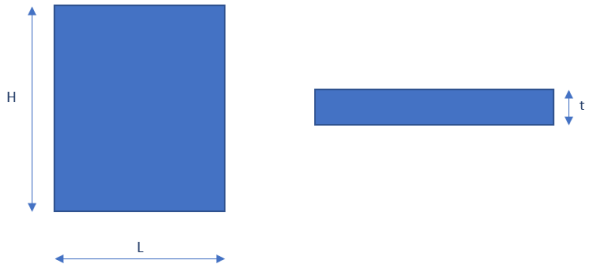
โดยก่อนการออกแบบจะทำการกำหนดตัวแปรของขนาดที่ใช้ในแบบจำลองเพื่อให้เข้าใจร่วมกัน ดังนี้

H คือ ความสูงจากมุมมอง Front view ของผนังรับแรงเฉือน

L คือ ความยาวจากมุมมอง Front view ของผนังรับแรงเฉือน

t คือ ความหนาจากมุมมอง Top view ของผนังรับแรงเฉือน

ซึ่งแต่ละตัวแปรมีค่าดังนี้ H = 3 m, L = 4 m, t = 350 mm.



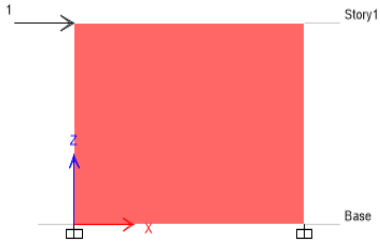
รูปที่ 2.1 รูปแสดง Front View และ Top View ของ Wall

และผนังรับแรงเฉือนจะใช้คุณสมบัติวัสดุคือ คอนกรีต4000psi และเหล็กเสริม A615Gr60 ตลอดทุกแบบจำลอง

2.1 การจำลองผนังรับแรงเฉือนในรูปแบบ Flat Wall

2.1.1 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Pier (E-TABS Design)

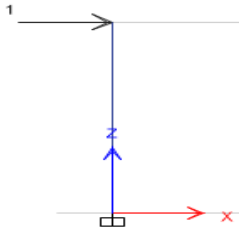
เลือกคำสั่ง Draw Rectangular Wall เพื่อสร้าง Pier ที่มีความหนา t, ความยาว L และความสูง H ได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Front View ของ Flat Pier

2.1.2 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Beam Element Model

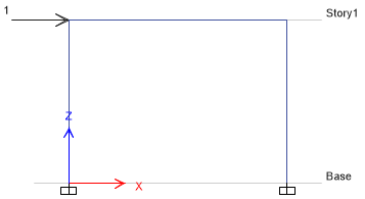
สร้างเสาโดยที่หน้าตัดเสามีขนาด L x t และมีความสูง H ได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Front View ของ Flat Beam Model

2.1.3 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Frame Model

สร้างเสาสองฝั่งที่มีขนาดหน้าตัดเสาเท่ากับ L/2 x t เชื่อมด้วยคานขนาดหน้าตัด H x t ได้ดังรูปที่ 2.4

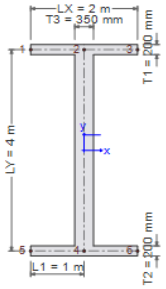


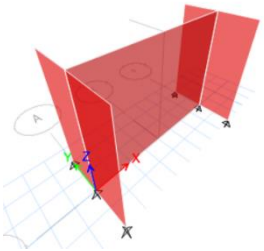
รูปที่ 2.4 Front View ของ Flat Frame Model

2.2 การจำลองผนังรับแรงเฉือนในรูปแบบ I-Wall

2.2.1 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Pier (E-TABS Design)

สร้าง Pier ให้หน้าตัดเป็นรูปตัว I มีความหนาเอวเท่ากับ t, ความยาว L, ความสูง H, ความหนาปีก 200 มิลลิเมตรและความกว้างปีก 2 เมตร ได้ดังรูปที่ 2.5 และจำลองเป็นภาพสามมิติได้ดังรูปที่ 2.6





รูปที่ 2.5 I-Wall Section **รูปที่ 2.6** Side View ของ I-Pier

2.2.2 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Beam Element Model

กำหนดคุณสมบัติหน้าตัดของเสาตามรูปที่ 2.5 แล้วจำลองเสาขึ้นมาเหมือนที่จำลองในหัวข้อ 2.1.2

2.2.3 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Frame Model

ได้จำลอง I-Frame เป็น 2 วิธีด้วยกัน

2.2.3.1 ใช้เสาสองต้นขนาด t x L/2 เชื่อมด้วยคานขนาด H x t เรียกชื่อว่า Frame – 2 Col

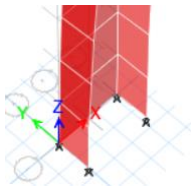
2.2.3.2 ใช้เสาและคานเหมือน 2.2.3.1 แล้วเพิ่มเสาตรงกลางขนาด L x t เรียกชื่อว่า Frame – 3 Col

2.3 การจำลองผนังรับแรงเฉือนในรูปแบบ C-Wall

2.3.1 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Pier (E-TABS Design)

สร้าง Pier ให้หน้าตัดเป็นรูปตัว I มีความหนาเอวเท่ากับ t, ความยาว L, ความสูง H, ความหนาปีก t และความกว้างปีก 2 เมตร ได้ดังรูปที่ 2.7 และจำลองเป็นภาพสามมิติได้ดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.7 C-Wall Section



รูปที่ 2.8 Side View ของ C-Pier

2.3.2 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Beam Element Model

กำหนดคุณสมบัติหน้าตัดของเสาตามรูปที่ 2.7 แล้วจำลองเสาขึ้นมาเหมือนที่จำลองในหัวข้อ 2.1.2 และ 2.2.2

2.2.3 การจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็น Frame Model

ได้จำลอง C-Wall โดยใช้เสาสามต้นประกอบด้วยเสากลางขนาด L x t และเสาที่อยู่ด้านข้างสองฝั่งขนาด t x L/2 และคานสามคานขนาด H x t

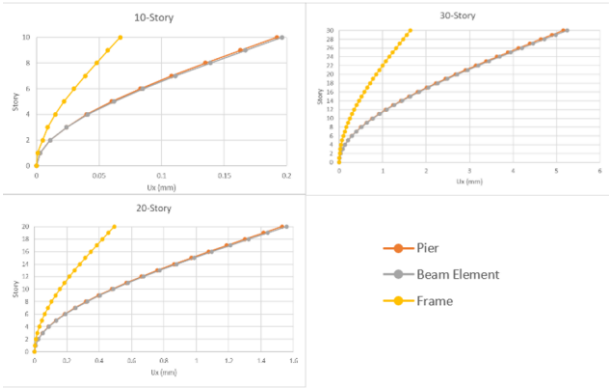
3. ผลการทดลอง

กำหนดให้ Ux : การกระจัดที่มากที่สุดของแต่ละชั้นตามแนวแกน X

Uy : การกระจัดที่มากที่สุดของแต่ละชั้นตามแนวแกน Y

3.1 Flat Shear Wall (Flat Wall)

หลังจากใส่แรงกระทำตามแนวแกน X เท่ากับ 1 kN กระทำที่ชั้นบนสุด นำผลลัพธ์ค่า Ux ของแต่ละแบบจำลอง (Pier, Beam, Frame) มาพล็อตกราฟ Ux กับ Story เปรียบเทียบสำหรับแบบจำลองที่มีจำนวนชั้น 10, 20 และ 30 ชั้น ได้ผลดังรูปที่ 3.1

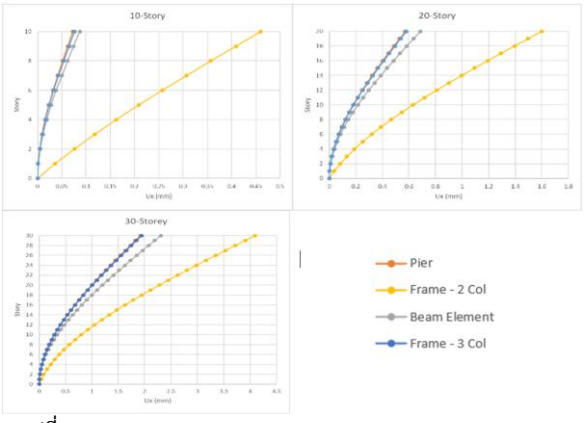


รูปที่ 3.1 Ux Comparison of 10-Story, 20-Story and 30-Story Flat Wall

3.2 I-Shape Shear Wall (I-Wall)

3.2.1 กรณีให้แรงกระทำด้านข้างตามแนวแกน X = 1 kN ที่ชั้นบนสุด

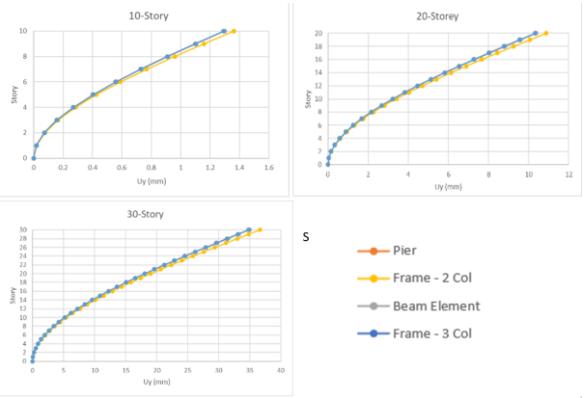
โดยให้แรงกระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของหน้าตัดตัว I นำค่า Ux ของแต่ละแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนมาพล็อตกราฟสำหรับแบบจำลอง 4 แบบ (Pier, Beam, Frame 2 Col, Frame 3 Col) สูง 10, 20 และ 30 ชั้นได้ผลดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Ux Comparison of 10-Story, 20-Story and 30-Story I-Wall

3.2.2 กรณีให้แรงกระทำด้านข้างในแนวแกน Y = 1 kN ที่ชั้นบนสุด

โดยแรงกระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของหน้าตัดตัว I นำค่า Uy ของแต่ละแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนมาพล็อตกราฟสำหรับแบบจำลอง 4 แบบ เดียวกับหัวข้อ 3.2.1 สูง 10, 20 และ 30 ชั้นได้ผลดังรูปที่ 3.3

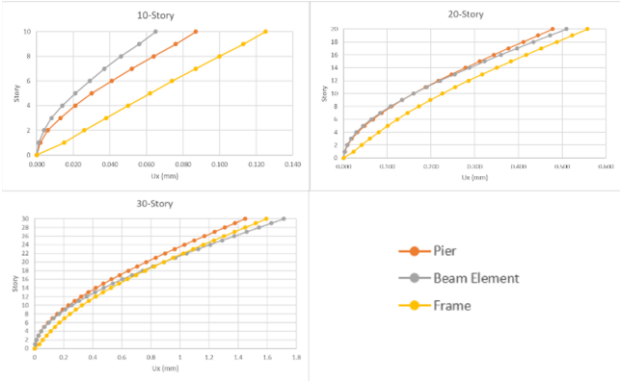


รูปที่ 3.3 Uy Comparison of 10-Story, 20-Story and 30-Story I-Wall

3.3 C-Shape Shear Wall (C-Wall)

3.3.1 กรณีให้แรงกระทำด้านข้างในแนวแกน X = 1 kN ที่ชั้นบนสุด

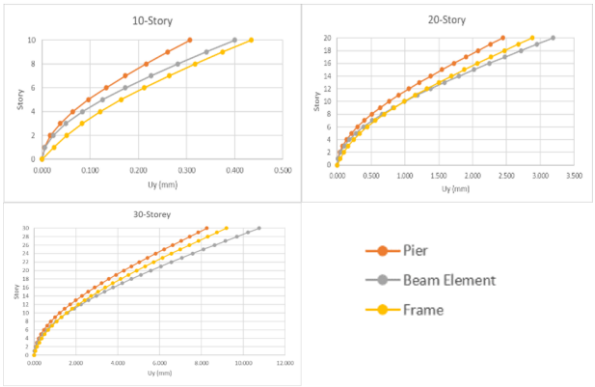
โดยในแบบจำลอง Pier และ Frame แรงจะกระทำผ่านกึ่งกลางของเอวของหน้าตัดรูปตัว C ส่วน Beam Model แรงจะกระทำผ่านที่จุดเซนทรอยด์ของหน้าตัดรูปตัว C ได้ค่า Ux ของแต่ละแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนมาพล็อตกราฟสำหรับแบบจำลองสูง 10, 20 และ 30 ชั้นได้ผลดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 Ux Comparison of 10-Story, 20-Story and 30-Story C-Wall

3.3.2 กรณีให้แรงกระทำด้านข้างในแนวแกน Y = 1 kN ที่ชั้นบนสุด

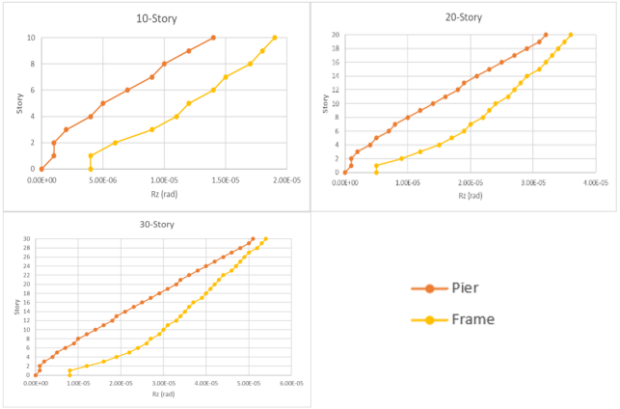
โดยให้แรงจะกระทำผ่านที่จุดเซนทรอยด์ของหน้าตัดรูปตัว C เช่นเดียวกันทั้งหมด ได้ค่า Uy ของแต่ละแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนมาพล็อตกราฟสำหรับแบบจำลองสูง 10, 20 และ 30 ชั้นได้ผลดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Uy Comparison of 10-Story, 20-Story and 30-Story C-Wall

3.3.3 การบิดในแนวแกน Z (Rotation About Z-Axis; Rz)

วิเคราะห์เพียงในกรณีที่ได้รับแรงกระทำในแนวแกน X ลักษณะเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 เนื่องจากในแนวแกน Y มีเพียงแบบจำลอง Pier ที่เกิดการบิดรอบแกน Z อย่างไรก็ตาม Beam Model จะไม่มีการบิดตัวรอบแกน z เมื่อใส่แรงกระทำดังนั้นจึงไม่นำมาพิจารณา เหลือเปรียบเทียบมุมการบิดกันเพียง Pier และ Frame Model ได้ผลดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 Rz Comparison of 10-Story, 20-Story and 30-Story C-Wall

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 Flat Shear Wall (Flat Wall)

จากกราฟ Ux Comparison ของแบบจำลอง Flat Wall ที่ความสูง 10, 20 และ 30 ชั้น ได้ผล Ux ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งผลของ Ux ที่แต่ละความสูงของแบบจำลองเป็นไปในทางเดียวกันคือ Frame ให้ค่า Ux ที่น้อยที่สุดตามมาด้วย Pier และ Beam ตามลำดับ โดยจะพบว่า Frame ให้ค่าการกระจัดในแต่ละชั้นที่น้อยกว่า Pier อยู่ค่อนข้างมากจึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ ส่วนค่าที่ได้จาก Beam นั้นมีค่าการกระจัดแต่ละชั้นที่ใกล้เคียงและเกาะกลุ่มกับ Pier ไป ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟจะเห็นว่าในการจำลองผนังรับแรงเฉือนที่เป็น Flat-Wall หรือผนังรับแรงเฉือนที่มีหน้าตัดเป็นระนาบสี่เหลี่ยมทั่วไป สามารถใช้แบบจำลอง Beam (Beam Model or Beam Element Model) แทนได้

4.2 *I-Shaped Shear Wall (I-Wall)*

4.2.1 Ux : กรณีให้แรงกระทำด้านข้างตามแนวแกน X = 1 kN กระทำที่ชั้นบนสุด

ในการจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็นรูปตัว I ได้จำลองทั้งหมด 4 แบบจำลอง โดยมีการจำลอง Frame ได้สองลักษณะตามหัวข้อ 2.2.3 และให้แรงกระทำผ่านกึ่งกลางหน้าตัด ได้กราฟ Ux Comparison ของแต่ละแบบจำลองตามกราฟรูปที่ 3.2 โดยจากการสังเกตและเทียบผลของ Ux จะได้ว่าแบบจำลอง Frame – 3 Col ให้ค่า Ux ที่ใกล้เคียงกับ Pier มากที่สุด และ Beam ให้ค่าที่ใกล้เคียงรองลงมา ส่วน Frame – 2 Col ให้ค่า Ux ที่มากกว่า Pier อยู่ค่อนข้างสูงมาก จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟพบว่าแบบจำลองแบบ Beam มีเปอร์เซ็นต์การกระจัดที่คลาดเคลื่อนจาก Pier ค่อนข้างคงที่ไม่ว่าแบบจำลองจะมีจำนวนชั้นหรือความสูงเท่าใด ในขณะที่การจำลอง Frame Model ที่ใช้เสา 2 ต้น (Frame – 2 Col) ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกระจัดที่คลาดเคลื่อนจากแบบจำลอง Pier ที่เป็นแบบตัวอ้างอิงรวมถึงแบบจำลองอื่นๆไปเยอะมาก แต่มีแนวโน้มที่จะใกล้เคียงมากขึ้น หากสร้างแบบจำลองที่มีความสูงมากกว่า 30 ชั้นขึ้นไป เพราะเปอร์เซ็นต์ความต่างมีค่าลดลงเมื่อจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น และสุดท้ายแบบจำลอง Frame ที่ใช้เสา 3 ต้น ในการจำลอง (Frame – 3 Col) มีค่าที่ใกล้เคียงกับแบบจำลอง Pier มากที่สุด และเมื่อดูเปอร์เซ็นต์ความห่างยิ่งน้อยลงเมื่อสร้างแบบจำลองที่มีความสูงเพิ่มมากขึ้น

จึงพอสรุปได้ว่าถ้าจะจำลองผนังรับแรงเฉือนที่มีหน้าตัดเป็น I-Wall สามารถจำลองแทนได้ด้วยแบบจำลอง Frame – 3 Col (แบบจำลอง Frame ที่ใช้สามเสาในการจำลอง) จะมีความเหมาะสมมากที่สุด

4.2.2 Uy : กรณีให้แรงกระทำด้านข้างตามแนวแกน X = 1 kN กระทำที่ชั้นบนสุด

ในการจำลองผนังรับแรงเฉือนเป็นรูปตัว I ได้จำลองทั้งหมด 4 แบบจำลอง โดยมีการจำลอง Frame ได้สองลักษณะ ได้ผล Uy ตามกราฟรูปที่ 3.3 โดยเมื่อเทียบผลของ Uy ในแบบจำลองความสูง 10 ชั้น จะพบว่าค่าของ Beam มีค่าความต่างกับ Pier น้อยที่สุด รองลงมาเป็น Frame – 3

Col และอันดับสุดท้ายคือ Frame – 2 Col ขณะที่แบบจำลอง 20 และ 30 ชั้น จะพบว่า Frame – 3 Col มีค่าความต่างกับ Pier น้อยที่สุด รองลงมาเป็น Beam และอันดับสุดท้ายคือ Frame – 2 Col โดยพบว่าค่าของทั้ง 3 แบบจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากและมีผลต่างจาก Pier น้อยมาก จึงสรุปได้ว่าแรงกระทำด้านข้างตามแนวแกน Y ทั้ง 3 โมเดลมีความเหมาะสม

แต่เมื่อประกอบข้อมูลจากหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 มาพิจารณาจะเห็นว่าแบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการใช้วิเคราะห์ I-Wall คือ Frame-3 Col

4.3 C-Shape Shear Wall (C-Wall)

4.3.1 Ux : กรณีให้แรงกระทำด้านข้างตามแนวแกน X = 1 kN กระทำที่ชั้นบนสุด

จากกราฟรูปที่ 3.4 ได้ผลเปรียบเทียบของ Ux โดยในแบบจำลองที่ความสูง 10 ชั้นจะพบว่า Beam มีค่า Ux น้อยที่สุด ตามด้วย Pier และสุดท้ายเป็น Frame แต่ที่ความสูง 20 ชั้นขึ้นไป Pier ให้ค่า Ux ที่น้อยที่สุด หากวิเคราะห์จากกราฟเพิ่มเติมจะสังเกตได้ว่าแบบจำลองแบบ Beam จะมีแนวโน้มจะให้ค่าการกระจัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ Pier เมื่อผนังรับแรงเฉือนมีจำนวนชั้นหรือความสูงมากขึ้น ทำให้แนวโน้มเปอร์เซ็นต์การกระจัดคลาดเคลื่อนเบนออกไปจากค่าของ Pier มากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะต่างจาก Frame เนื่องจากมีลักษณะที่เมื่อเพิ่มความสูงของผนังรับแรงเฉือน แล้วทำให้แนวโน้มเปอร์เซ็นต์การกระจัดที่คลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับ Pier มีค่าลู่เข้าใกล้ Pier หรือมีความต่างของเปอร์เซ็นต์การกระจัดที่คลาดเคลื่อนที่น้อยลง ดังนั้นถ้าจะพิจารณาการสร้างผนังรับแรงเฉือนในระดับ 30 ชั้นขึ้นไป สามารถใช้แบบจำลอง Frame ในการพิจารณาได้ ขณะที่ถ้าพิจารณาการสร้างผนังรับแรงเฉือนในระดับความสูงระหว่าง 10 ถึง 20 ชั้น ควรใช้แบบจำลอง Beam แทนเนื่องจากจะให้ค่าที่แม่นยำกว่า

4.3.2 Uy : กรณีให้แรงกระทำด้านข้างตามแนวแกน X = 1 kN กระทำที่ชั้นบนสุด

จากกราฟรูปที่ 3.5 ได้ผลเปรียบเทียบ Uy โดยจะพบว่าที่แบบจำลองความสูง 10 ชั้น Beam จะให้ค่า Uy ที่ใกล้เคียงกับ Pier มากกว่า Frame แต่เมื่อแบบจำลองมีความสูงตั้งแต่ 20 ชั้นขึ้นไป Pier จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับ Frame มากกว่า หากวิเคราะห์จากกราฟเพิ่มเติมจะสังเกตได้ว่า Pier ให้ค่าการกระจัดที่น้อยที่สุด โดยจะเห็นแนวโน้มของ Beam ว่าจะให้ค่าการกระจัดเพิ่มขึ้นเมื่อผนังรับแรงเฉือนมีจำนวนชั้นมากขึ้น ทำให้แนวโน้มเปอร์เซ็นต์การกระจัดที่คลาดเคลื่อนลู่ออกไปจากค่าของ Pier มากขึ้นไปเรื่อย ๆ ส่วนกรณีของ Frame มีแนวโน้มที่เมื่อเพิ่มความสูงหรือจำนวนชั้นของผนังรับแรงเฉือน แล้วจะทำให้ค่าการกระจัดเมื่อเทียบกับ Pier ลดลง หรือกราฟการกระจัดของ Frame เบนเข้าหา Pier มากขึ้น และมีแนวโน้มเป็นเช่นนี้เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นขึ้นไป ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันกับหัวข้อที่ 5.1.3.1 สามารถใช้แบบจำลอง Frame ในการพิจารณาได้ในกรณีที่ C-Wall มีความสูงหรือจำนวนชั้นมากกว่า 30 ชั้นขึ้นไป

4.3.3 Rotation about Z-Axis (Torsion, Rz)

จากกราฟ Rotation about Z-Axis ของแบบจำลอง 10, 20 และ 30 ชั้นได้ผล Rz ตามกราฟรูปที่ 3.6 โดยพบว่า Frame เกิดมุมการบิดรอบแกน Z มากกว่า Pier แต่เมื่อเพิ่มจำนวนชั้น กราฟของแบบจำลอง Frame มีแนวโน้มที่ใกล้เคียง Pier มากขึ้นเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนที่ลดลงค่อนข้างมาก อีกข้อสังเกตหนึ่งที่สังเกตได้จากกราฟ Pier คือกราฟการบิดมีความชันค่อนข้างคงที่ ในกรณีของ Beam Model ที่ไม่มีค่ามุมการบิดรอบแกน Z นั้น เนื่องจากในการจำลอง Beam Model ผ่านโปรแกรม E-TAB ตัวโปรแกรมจะบังคับให้ใส่แรงผ่านที่จุดเซนทรอยด์ของตัว C พอดีเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ทำให้ Beam Model ไม่มี Rotational motion

5. อภิปรายผลการวิเคราะห์

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับผนังรับแรงเฉือน Beam และ Frame ในรูปแบบหน้าตัดที่แตกต่างกันที่ความสูงต่างกันเทียบกับ Pier (E-TABS Design Model) ที่เป็นตัวอ้างอิงหลัก พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเหมาะสมในการเลือกใช้แบบจำลอง Beam หรือ Frame มาทดแทน Pier นั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างผนัง (รูปแบบหน้าตัดผนังรับแรงเฉือน) และจำนวนชั้นหรือความสูงของผนังรับแรงเฉือนที่มีความแตกต่างกัน จากกรณีต่างๆที่ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์โดยใช้การเปรียบเทียบ Maximum Story Displacements ของทั้งสองแบบจำลองข้างต้นกับแบบจำลอง Pier ได้ข้อสรุปว่าแบบจำลองแบบ Beam มีความเหมาะสมในการนำไปใช้วิเคราะห์และออกแบบผนังรับแรงเฉือนที่มีรูปร่างเป็น Flat Wall ส่วนสำหรับแบบจำลอง Frame นั้นมีความเหมาะสมในการนำไปใช้วิเคราะห์และออกแบบผนังรับแรงเฉือนรูปร่าง I-Wall และ C-Wall ในกรณีที่ C-Wall มีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 30 ชั้นขึ้นไป กล่าวโดยสรุปคือแบบจำลองผนังรับแรงเฉือนแบบ Beam และ Frame จะมีความเหมาะสมในการใช้งานในเงื่อนไขที่ต่างกันขึ้นกับรูปร่างและความสูงของผนังรับแรงเฉือน

เอกสารอ้างอิง

[1] CSI (2016). *User's Guide ETABS® 2016. Computers and Structures, Inc.,* Computers and Structures, Inc,

[2] K. Galal, H. El-Sokkary., 2008. *Advancement in modeling of RC Shear Walls*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.

[3] Parmod Sharan, Balwan., 2016. *Earthquake Vibration Control Using Modified Framed Shear Wall*. International Journal of Engineering and Management Research. Bahal, Bhiwani, India, pp. 422-32.

[4] T.H.G. Megson, *STABILITY OF BEAMS UNDER TRANSVERSE AND AXIAL LOADS in Aircraft Structures for Engineering Students (Seventh Edition)*, Burlington, USA pp.449-520