



การประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหวของอาคารโดยคำนึงถึงโครงสร้างฐานรากเสาเข็ม

ปรีดา ไชยมหาวัน* สมบูรณ์ เชื้องฉิน ธนกร ชมภูรัตน์ และ ธนกฤต เทพอุโมงค์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

รัฐพล เกติยศ

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 5446 6666 ต่อ 3385 อีเมล: preeda.ch@up.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.07.003

รับเมื่อ 9 เมษายน 2564 แก้ไขเมื่อ 14 กรกฎาคม 2564 ตอรับเมื่อ 11 สิงหาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 6 กรกฎาคม 2566

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาเปรียบเทียบผลการประเมิน และผลตอบสนองของโครงสร้างอาคารต้านแผ่นดินไหว โดยใช้สเปกตรัมในพื้นที่จังหวัดพะเยา ด้วยแบบจำลองโครงสร้างอาคารที่มีเฉพาะโครงสร้างด้านบนเพียงอย่างเดียว และแบบจำลองที่มีทั้งโครงสร้างด้านบนและโครงสร้างฐานรากพร้อมกัน โดยโครงสร้างฐานรากได้ใช้เสาเข็มและสปริงเพื่อแทนผลของดินที่อยู่ด้านข้างเสาเข็ม ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองอาคารที่มีทั้งโครงสร้างด้านบนและโครงสร้างเสาเข็มพร้อมกัน ทำให้คาบธรรมชาติในโหมดพื้นฐานเพิ่มขึ้น และมีรูปแบบและสัดส่วนการสั่นไหวที่แตกต่างจากแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม แบบจำลองที่มีเสาเข็มมีสตีเฟนสการต้านแรงด้านข้างลดลงแต่ไม่ได้ลดแรงต้านสูงสุดของอาคาร และถูกประเมินด้วยแรงแผ่นดินไหวที่ลดลงจึงพบระดับความเสียหายที่ลดลงด้วย ผู้วิจัยได้ทดลองเปลี่ยนลักษณะชั้นดินให้มีความแตกต่างกันพบว่า การคำนึงถึงการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารที่คำนึงถึงโครงสร้างฐานรากจะช่วยลดแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ประเมินได้มากในกรณีดินที่อ่อน แต่โครงสร้างอาคารจะมีการเสียรูปที่มากขึ้น ดังนั้นการจำลองโครงสร้างอาคารจำเป็นต้องพิจารณาโครงสร้างฐานรากในกรณีที่อาคารอยู่บนดินอ่อนเพื่อให้ประเมินสมรรถนะของของอาคารได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: การประเมินอาคารต้านแผ่นดินไหว ปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง การวิเคราะห์โดยวิธีการผลึก สติไม่เชิงเส้น

การอ้างอิงบทความ: ปรีดา ไชยมหาวัน, สมบูรณ์ เชื้องฉิน, ธนกร ชมภูรัตน์, ธนกฤต เทพอุโมงค์ และ รัฐพล เกติยศ, “การประเมินกำลังต้านแผ่นดินไหวของอาคารโดยคำนึงถึงโครงสร้างฐานรากเสาเข็ม,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 3, หน้า 1-14, เลขที่บทความ 233-014915, ก.ค.-ก.ย. 2566.



Seismic Evaluation of Building Considering Pile Foundation

Preeda Chaimahawan*, Somboon Shaingchin, Thanakorn Chompoorat and Thanakit Thepumong

Department of Civil Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Phayao, Thailand

Rattapon Ketiyot

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai Campus, Chiang Rai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 5446 6666 Ext. 3385, E-mail: preeda.ch@up.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.07.003

Received 9 April 2021; Revised 14 July 2021; Accepted 11 August 2021; Published online: 6 July 2023

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This article presents a comparative study of the evaluation results and responses of the building under seismic load using Phayao Province spectrum. The comparisons are made from the two different building models consisting of the model with the only super structure and the one with both super structure and pile foundation. The foundation model is constructed with frame elements and springs representing pile embedded in soil under lateral load. Based on the study results, the building model with pile foundation has higher natural frequency in fundamental mode shape and has different mode shapes and modal participation ratios compared with the building model without pile. The building model with pile tend to reduce the lateral stiffness but does not reduce the maximum lateral resistance. It was also assessed by the reduced seismic force and the lower level of damage was also found. The parametric study of the building model with pile foundation embedded in various types of soil indicated that, the model will significantly reduce seismic evaluation force, especially in case of soft soil but the model has more deformation. The building model should consider sub structure, especially in case of soft soil, in order to evaluate the seismic performance of the building properly.

Keywords: Seismic Evaluation, Soil-structure Interaction, Push Over Analysis, Non-linear Static

Please cite this article as: P. Chaimahawan, S. Shaingchin, T. Chompoorat, T. Thepumong, and R. Ketiyot, "Seismic evaluation of building considering pile foundation," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 3, pp. 1–14, ID. 233-014915, Jul.–Sep. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

การประเมินความสามารถอาคารต้านแผ่นดินไหว ถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อเตรียมความพร้อมให้กับอาคารก่อนที่จะต้องเจอกับภัยพิบัติจากแผ่นดินไหว เนื่องจากเป็นวิธีการที่ทำให้ทราบสมรรถนะความสามารถของอาคารที่มีอยู่เดิมนั้นสามารถต้านทานแรงกระทำจากแผ่นดินไหวได้มากน้อยเพียงใด ทำให้ทราบถึงจุดอ่อนแอของอาคาร เพื่อที่จะสามารถเตรียมความพร้อมในการซ่อม หรือเสริมกำลังให้กับอาคารต่อไป ในทางปฏิบัติ วิศวกรนิยมจำลองเฉพาะโครงสร้างที่อยู่เหนือดิน (Super Structure) และให้จุดที่เป็นฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed-base) อยู่ที่เสาตอม่อ โดยสมมุติให้โครงสร้างที่อยู่ใต้ดิน (Sub Structure) ฐานราก และเสาเข็ม เคลื่อนตัวไปพร้อมกับดิน แล้วทำการประเมินโครงสร้างด้วยแรงแผ่นดินไหว ไม่ว่าจะเป็นแรงแบบสถิต หรือแรงแบบพลศาสตร์จากสเปกตรัมผลตอบสนอง สำหรับโครงสร้างฐานรากเสาเข็ม นิยมแยกประเมินต่างหากเฉพาะด้วยแบบจำลองเสาเข็ม หรือแบบจำลองฐานรากเท่านั้น

หากแต่ความเป็นจริงแล้วพฤติกรรมการแยกประเมินโครงสร้างเฉพาะโครงสร้างบนดินนั้น อาจไม่เป็นไปตามสมมุติฐานเสมอไป เนื่องจากฐานรากและเสาเข็มอาจมีการเคลื่อนตัวที่ไม่พร้อมกันกับโครงสร้างดินเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว จึงทำให้แนวทางการประเมินอาคารต้านทานแผ่นดินไหวที่ใช้เฉพาะแบบจำลองโครงสร้างที่อยู่เหนือดินอย่างเดียว หรือการแยกโครงสร้างประเมินนั้นอาจไม่เพียงพอที่จะจำลองพฤติกรรมโครงสร้างภายใต้แผ่นดินไหวได้ด้วยแบบจำลองทั้งโครงสร้างที่อยู่บนดินและใต้ดิน ซึ่งบางครั้งอาจเรียกแบบจำลองดังกล่าวว่า “ปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง” (Soil-Structure Interaction; SSI) Bielak [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง โดยแสดงให้เห็นว่าผลจากการวิเคราะห์ด้วยปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่มากกว่าแบบจำลองให้ฐานรากเป็นแบบยึดแน่น Ghannad และ Jahankhah [2] ได้แสดงผลตอบสนองของโครงสร้างที่ใช้แบบจำลองฐานยึดแน่นนั้นมีค่าที่น้อยกว่า เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างให้รวมผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและโครงสร้าง

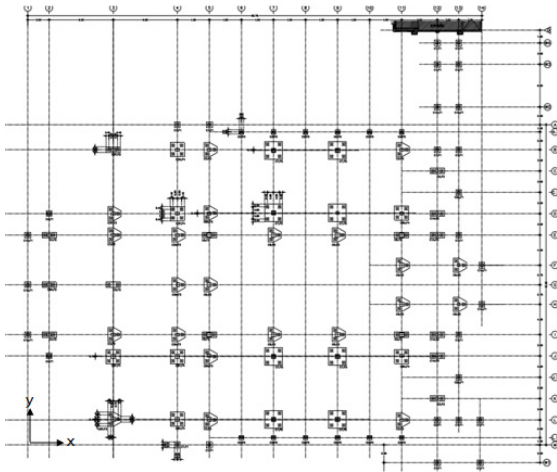
อาคาร Moghaddasi และคณะ [3] ศึกษาสถิติของแบบจำลองที่รวมผลดินและโครงสร้างอาคารจากผลตอบสนองคลื่นแผ่นดินไหวกว่า 40 คลื่น และพบว่า ผลของปฏิสัมพันธ์ดินและโครงสร้างนั้นทำให้ผลตอบสนองในโครงสร้างมีทั้งมากขึ้นและต่ำลง ขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี นอกจากนี้แล้ว งานวิจัยของ Sae-Long และคณะ [4], [5] ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยไฟเบอร์เอลิเมนต์จำลองโครงคานเสาอาคาร และเชื่อมต่อกับโครงสร้างดินด้วยสปริง สามารถทำนายพฤติกรรมไม่เชิงเส้นระหว่างโครงสร้างที่อยู่บนดินและใต้ดินได้เป็นอย่างดี

อย่างไรก็ตาม การสร้างแบบจำลองทั้งโครงสร้างบนดินและโครงสร้างใต้ดินในเวลาเดียวกันนั้นยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากจะเสียเวลาในการสร้างแบบจำลองพหุสมการ อีกทั้งการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นทั้งการป้อนข้อมูลและการวิเคราะห์ผล ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการทดลองสร้าง และประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร โดยใช้แบบจำลองที่คำนึงถึงผลของดิน ฐานรากและโครงสร้างด้วยรูปแบบที่ง่ายขึ้น เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้อง และเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้ฐานแบบยึดแน่นกับฐานที่มีการจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและฐานราก เพื่อให้วิศวกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาแนวทางการประเมินอาคารต้านแผ่นดินไหวด้วยแบบจำลองที่มีโครงสร้างบนดิน และโครงสร้างฐานรากเสาเข็มพร้อมกัน และเปรียบเทียบความแตกต่างของผลตอบสนองระหว่างวิธีการประเมินโครงสร้างต้านแผ่นดินไหวที่มีเฉพาะโครงสร้างด้านบนเพียงอย่างเดียว กับแบบจำลองโครงสร้างที่มีทั้งโครงสร้างด้านบนและโครงสร้างฐานรากเสาเข็มพร้อมกัน

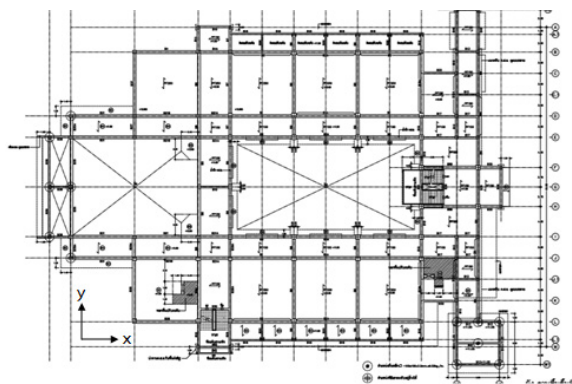
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

อาคารที่ใช้ทำการศึกษาคั้งนี้เป็นอาคารที่มีการก่อสร้างและใช้งานจริง คือ อาคารเรียนรวม CE13 และ CE14 มหาวิทยาลัยพะเยา ตั้งอยู่ในตำบลแม่กา อำเภอเมือง



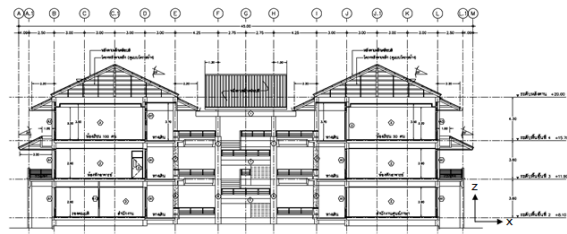
รูปที่ 1 แพลนโครงสร้างฐานรากเสาเข็มและตอม่อ อาคารเรียนรวม CE13 และ CE14



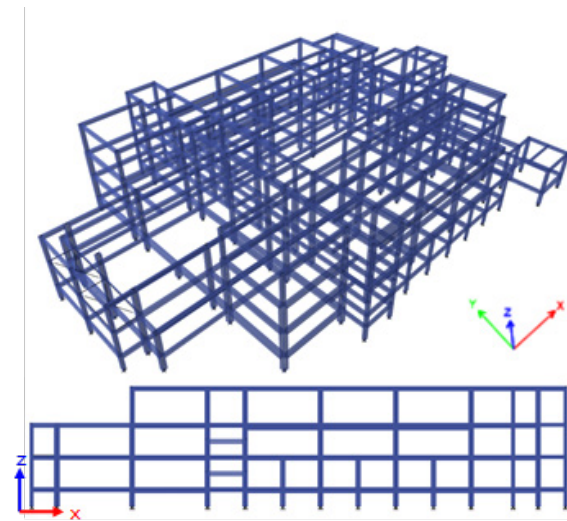
รูปที่ 2 แพลนโครงสร้างพื้นชั้นที่ 2-4 อาคารเรียนรวม CE13 และ CE14

จังหวัดพะเยา เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 3 ชั้น พื้นที่ใช้สอยประมาณ 4,700 ตร.ม. ถูกออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกจร 400 กก./ม.² มีการใช้งานตั้งแต่ พ.ศ. 2549 โครงสร้างฐานรากเป็นเสาเข็ม มิติต่างๆ แสดงในรูปที่ 1-3

การวิเคราะห์โครงสร้างใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ETABS) ทำการสร้างแบบจำลองเป็น 3 มิติ เพื่อให้ได้แบบจำลองโครงสร้างอาคารที่เหมือนกับอาคารจริงมากที่สุด โดยทำการป้อนขนาดหน้าตัดเสา หน้าตัดคาน และปริมาณเหล็กเสริมเช่นเดียวกับแบบก่อสร้างอาคารทุกประการ ระบบพื้น

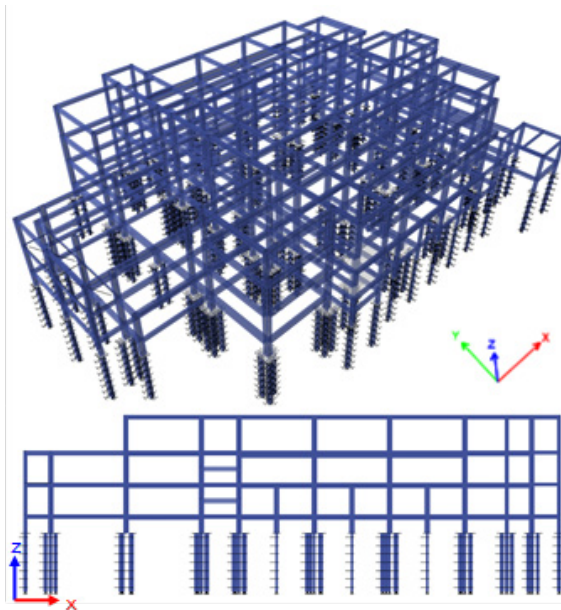


รูปที่ 3 รูปตัดอาคารเรียนรวม CE13 และ CE14



รูปที่ 4 แบบจำลองอาคารที่ไม่มีเสาเข็ม

เป็นระบบพื้นสำเร็จเป็นส่วนใหญ่ และพื้นสองทางในบางตำแหน่ง เช่น ห้องน้ำ กั้นสาด แบบจำลองที่ทำการศึกษานี้สร้างขึ้นให้มีความแตกต่างกัน 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองที่มีเฉพาะโครงสร้างด้านบนแต่ไม่มีเสาเข็ม กำหนดให้ฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่นที่ระดับตอม่อ ส่วนอีกแบบจำลองหนึ่งเป็นแบบจำลองที่มีทั้งโครงสร้างด้านบน และโครงสร้างฐานรากเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ โดยแบบจำลองที่สร้างจะมีเพียงคานและเสา แต่ไม่มีพื้นและผนังก่อ เนื่องจากต้องการตัดผลที่อาจเกิดจากพฤติกรรมเชิงเส้นที่ได้จากโครงสร้างพื้นและผนังก่อออกไป และต้องการวิเคราะห์แบบสถิตไม่เชิงเส้นในโครงสร้างคานและเสา ส่วนน้ำหนักบรรทุกบนโครงสร้างพื้นได้ทำการถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่คานในรูปแบบของน้ำหนักแผ่กระจาย



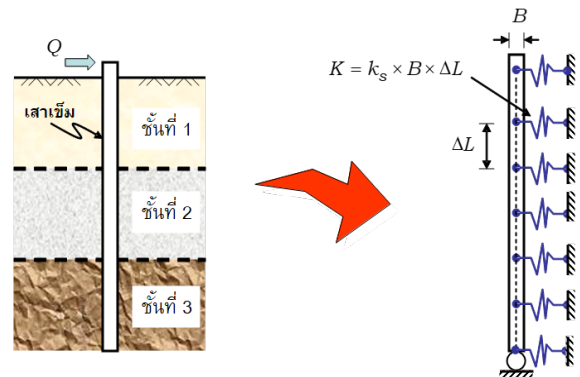
รูปที่ 5 แบบจำลองอาคารที่มีทั้งโครงสร้างด้านบนและเสาเข็มพร้อมกัน

2.2 คุณสมบัติวัสดุ

กำหนดให้คอนกรีตมีกำลังอัด 240 กก./ซม.² กำลังดึงครากเหล็กข้ออ้อยสำหรับเหล็กชั้นคุณภาพ SD40 ใช้ค่า 4,000 กก./ซม.² และสำหรับเหล็กเส้นกลม SR24 ใช้ค่า 2,400 กก./ซม.² ซึ่งเป็นกำลังที่ระบุไว้ในแบบก่อสร้าง มอดูลัสยืดหยุ่นใช้ค่า 233,928 กก./ซม.² และ 2,040,000 กก./ซม.² สำหรับคอนกรีตและเหล็กเสริมตามลำดับ

2.3 แบบจำลองเสาเข็ม

การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างดิน และโครงสร้างในงานฐานรากเสาเข็มได้ใช้สปริงแทนดินด้านข้าง และกำหนดให้ปลายเสาเข็มเป็นแบบล้อเลื่อน (รูปที่ 6) การวิเคราะห์โครงสร้างเสาเข็มที่แทนด้วยสปริงมีข้อดีคือสามารถประยุกต์ใช้กับสภาพชั้นดินหลายๆ ชั้นได้ [6] โดยทั่วไปโครงสร้างฐานรากจะออกแบบให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน 2.5-3 เท่า จึงคาดว่าโครงสร้างเสาเข็มมีพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่นจากการรับแรงแผ่นดินไหว อีกทั้งต้องการศึกษาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมไม่เชิงเส้นในโครงสร้างอาคารเฉพาะส่วนที่เป็น



รูปที่ 6 การสร้างแบบจำลองเสาเข็มด้วยสปริง

โครงสร้างเสาและคานด้านบน จึงสมมุติให้โครงสร้างเสาเข็มมีพฤติกรรมยืดหยุ่นตลอดการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์เสาเข็มในกรณีที่ต้องรับแรงในแนวราบคือค่าสติเฟนของสปริงที่แทนดิน เรียกว่า ค่ามอดูลัสต้านทานแนวราบของดิน (Modulus of Horizontal Subgrade Reaction) k_s มีหน่วยเป็น แรง/ปริมาตร เช่น ตัน/ม.³ โดยที่ค่า k_s ขึ้นอยู่กับลักษณะของดินว่าเป็นดินเหนียวหรือเป็นดินทราย ในกรณีของดินเหนียวค่า k_s จะสมมุติให้มีค่าคงที่ตลอดชั้นดินโดย Davisson [7] เสนอสมการคำนวณค่า k_s ดังสมการที่ (1)

$$k_s = 67 \frac{S_u}{B} \quad (1)$$

เมื่อ S_u คือ กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

B คือ ขนาดความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม ในกรณีที่เสาเข็มอยู่ในชั้นดินทราย ใช้วิธีการคำนวณค่า k_s จาก Terzaghi [8] ซึ่งใช้ค่า k_s ไม่คงที่ตามความลึกของชั้นดิน สามารถคำนวณดังสมการที่ (2)

$$k_s = \frac{n_h x}{B} \quad (2)$$

เมื่อ x คือ ความลึก ณ จุดที่พิจารณา

B คือ ขนาดความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

n_h คือ ค่าคงที่สำหรับต้านทานแรงแนวราบ

เมื่อทราบค่า k_s แล้วสามารถคำนวณสติเฟนสของสปริง (K) ของดินดังสมการที่ (3)

$$K = k_s \cdot B \cdot \Delta L \quad (3)$$

เมื่อ B คือ ความกว้างของเสาเข็ม

ΔL คือ ความยาวในพื้นที่รับผิวดชอบ

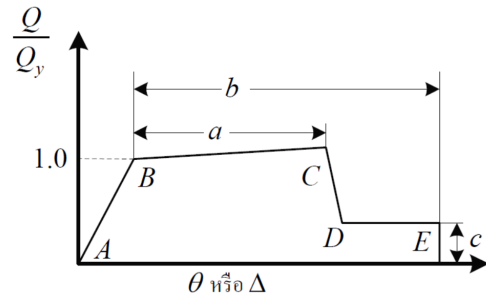
ผลการเจาะสำรวจดินในสนาม ณ ตำแหน่งที่ก่อสร้างอาคารดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1 พบว่าเป็นดินเหนียวแข็ง มีค่า SPT สูงสุดที่ระดับ 7.5 ม. จากการสำรวจรายงานการก่อสร้างพบว่าใช้เสาเข็มที่มีความยาว 7 ม. ทำให้แบบจำลองกรณีที่มีเสาเข็มได้ใช้การจำลองเสาเข็มมีความยาว 7 ม. เช่นกัน ค่ามอดูลัสต้านทานแนวราบของดิน (k_s) สำหรับ เสาเข็มขนาดหน้าตัด 40×40 ซม. แสดงในตารางที่ 1 เช่นกัน

ตารางที่ 1 รายงานผลการเจาะสำรวจดินในสนาม

ความลึก (ม.)	ชนิดของดิน	SPT (ครั้ง/ฟุต)	S_u (ตัน/ม. ²)	k_s (เสาเข็ม 0.4×0.4 ม.) (ตัน/ม. ³)
1.0	Clay	31	20.54	3,440.45
1.5	Clay	26	17.23	2,886.03
2.0	Clay	16	10.60	1,775.50
2.5	Clay	6	3.98	666.65
3.0	Clay	8	5.30	887.75
3.5	Clay	20	13.25	2,219.38
4.0	Clay	69	45.71	7,656.43
4.5	Clay	112	74.20	12,428.50
5.0	Clay	94	62.28	10,431.90
5.5	Clay	139	92.09	15,425.08
6.0	Clay	145	96.06	16,090.05
6.5	Clay	154	102.03	17,090.03
7.0	Clay	158	104.68	17,533.90
7.5	Clay	165	109.31	18,309.43

2.4 จุดหมุนพลาสติก

เนื่องจากการวิเคราะห์จะใช้วิธีหลักโครงสร้างแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear Push Over Analysis) จึงได้

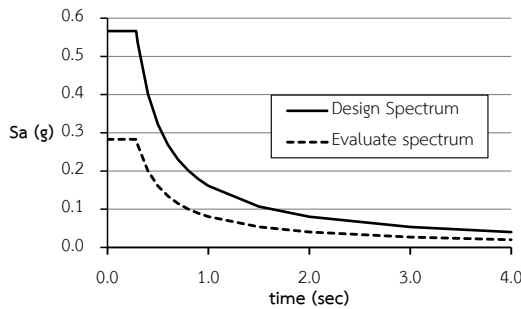


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูป [9]

กำหนดจุดหมุนพลาสติกในตำแหน่งต่างๆ ให้กับโครงสร้าง โดยกำหนดจุดหมุนพลาสติกเนื่องจากแรงดัดที่ปลายขององค์อาคารทั้งสองด้าน และกำหนดจุดหมุนพลาสติกสำหรับแรงเฉือนที่ระยะร้อยละ 20 ของความยาวชิ้นส่วนจากปลายองค์อาคารทั้งสองด้าน ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูป ใช้ตามที่กำหนดใน มยผ. 1303-57 [9] สำหรับการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 7 พฤติกรรมแบบเชิงเส้นจากจุด A (เมื่อไม่มีแรงกระทำ) ไปที่จุด B ซึ่งเป็นจุดครากประสิทธิผล ต่อจากนั้นก็มีพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้นจากจุด B ไปที่จุด C โดยมีค่าสติเฟนสที่ลดลง เมื่อการเสียรูปมากกว่าจุด C แรงต้านทานมีค่าลดลงอย่างทันทีทันใดไปสู่จุด D ซึ่งอาจมีแรงต้านทานคงค้างบ้าง และจุด E ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายที่สูญเสียแรงต้านทานโดยสิ้นเชิง

2.5 กราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง

กราฟสเปกตรัมสำหรับอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ได้ถูกสร้างขึ้นตาม มยผ.1301/1302-61 [10] โดยกราฟดังกล่าวจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเส้นกราฟกำลังต้านแรงด้านข้างของโครงสร้าง (Capacity Curve หรือ Push-over Curve) ที่ได้จากการผลึกแบบ Push-over ซึ่งเขตอำเภอเมือง จังหวัดพะเยาเป็นที่ตั้งอาคาร ค่าความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่คาบสั้น 0.2 วินาที $S_u = 0.781$ g และที่คาบ 1 วินาที $S_1 = 0.146$ g ของแผ่นดินไหวรุนแรงสูงสุดที่พิจารณา จากผลการเจาะสำรวจดินในตารางที่ 1 และการศึกษาของ Chaimahawan และคณะ [11] และ Wongrat และคณะ [12] สามารถจำแนกดินเป็นประเภท C หรือดินแข็ง



รูปที่ 8 สเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับการประเมินอาคาร
ต้านแผ่นดินไหวแบบสถิติศาสตร์ ในเขต อำเภอเมือง
จังหวัดพะเยา

ตาม มผพ.1301/1302-61 [10] ทำให้สามารถสร้างกราฟ
สเปกตรัมสำหรับการออกแบบได้ดังรูปที่ 8

อย่างไรก็ตาม แนวทางการประเมินอาคารที่ก่อสร้าง
ไปแล้วตาม มผพ.1303-57 [9] นั้น ได้แนะนำให้ใช้สเปกตรัม
ผลตอบสนองที่มีความรุนแรงเพียงครั้งเดียวของสเปกตรัม
ที่ใช้ออกแบบอาคาร เนื่องจากอาคารเก่าที่ก่อสร้างไปแล้ว
นั้นย่อมมีกำลังที่น้อยกว่าอาคารใหม่ ยากต่อการปรับปรุง
ให้มีความแข็งแรงเทียบเท่าอาคารใหม่ได้ ซึ่งกราฟสเปกตรัม
สำหรับการประเมินแสดงไว้ในรูปที่ 8 เช่นกัน

ในแบบจำลองทั้งสองแบบนี้ได้ปรับลดสติเฟเนส ของ
องค์อาคารต่างๆ ตามข้อกำหนดของ มผพ. 1303-57 [9]
เพื่อคำนึงถึงการแตกหักและเสียหายของโครงสร้างเสา และ
คานจากการรับแรงแผ่นดินไหว โดยปรับลดสติเฟเนสด้านการ
เฉือนในเสา และคานลงเหลือร้อยละ 40 และปรับลดสติเฟเนส
สำหรับด้านการดัดลงเหลือร้อยละ 30 และ 70 สำหรับคาน
และเสาตามลำดับ

การนำกราฟความสามารถด้านการเคลื่อนที่ด้านข้าง
จากการผลึกอาคาร ซึ่งอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างแรง
กระทำกับการเคลื่อนที่ มาเปรียบเทียบกับกราฟสเปกตรัม
สำหรับการประเมิน ซึ่งอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเร่งกับคาบ จะต้องทำให้กราฟทั้งสองอยู่ในหน่วย
เดียวกัน ซึ่งแกนตั้งจะเป็นความเร่ง ($S_d(g)$) และแกนนอนจะ
เป็นการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเชิงสเปกตรัม (S_d)

สำหรับกราฟสเปกตรัมผลตอบสนอง แกน y เป็น

ความเร่งตอบสนองเชิงสเปกตรัม ($S_d(g)$) อยู่แล้วจึงไม่ต้อง
ปรับค่าแต่อย่างใด ส่วนแกน x เป็นคาบ (วินาที) จะต้องปรับ
ค่าเป็นการเคลื่อนที่เชิงสเปกตรัม (หน่วยของความยาว) โดย
คำนวณตามสมการที่ (4) [13]

$$S_d = S_a \left(\frac{T^2}{4\pi^2} \right) \quad (4)$$

สำหรับกราฟเส้นโค้งกำลังตามแกน y เป็นแรงเฉือนซึ่ง
เป็นหน่วยของแรง จะต้องเปลี่ยนเป็นความเร่งตอบสนองเชิง
สเปกตรัม ($S_d(g)$) ดังสมการที่ (5) สำหรับแกน x เป็นการ
เคลื่อนที่ จะต้องเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนที่เชิงสเปกตรัม
สามารถเปลี่ยนโดยคำนวณตามสมการที่ (6) [13]

$$S_a = \frac{(V/W)}{\alpha_1} \quad (5)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{(PF_1 \cdot \phi_{1roof})} \quad (6)$$

เมื่อ V คือ แรงเฉือนที่ฐาน (นิวตัน)

W คือ น้ำหนักอาคาร (นิวตัน)

ϕ_{1roof} คือ รูปแบบการสั่นไหวของชั้นหลังคาโหมดที่ 1

Δ_{roof} คือ ระยะการเคลื่อนที่ของชั้นหลังคา

α_1 คือ สัมประสิทธิ์มวลสำหรับรูปแบบการสั่นไหว
ในโหมดที่ 1 (Modal Mass Coefficient) สามารถคำนวณ
ได้จากสมการที่ (7) [13]

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (7)$$

PF_1 คือ สัมประสิทธิ์การมีส่วนร่วมการสั่นไหว
สำหรับโหมดที่ 1 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8) [13]

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \quad (8)$$



เมื่อ w_i และ ϕ_{i1} เป็นน้ำหนักอาคาร และรูปแบบการสั่นไหวของโมดที่ 1 ของชั้นที่พิจารณา ตามลำดับ

3. ผลการทดลอง

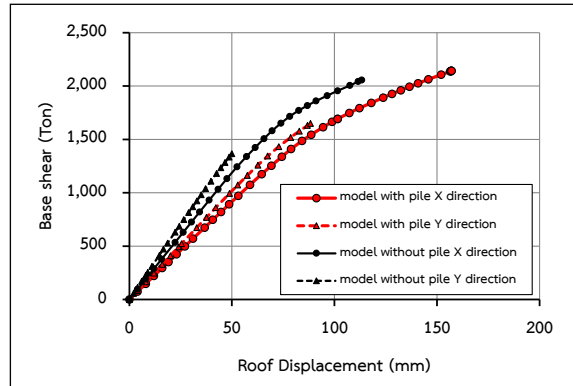
3.1 คาบธรรมชาติ

คาบธรรมชาติใน 6 โหมดแรกของทั้ง 2 แบบจำลองแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่า แบบจำลองที่มีเสาเข็มจะมีคาบธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นกว่ากรณีแบบจำลองไม่มีเสาเข็ม โดยแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม มีโหมดพื้นฐานเป็นสัดส่วนหลักประมาณร้อยละ 26-36 ในขณะที่การมีส่วนร่วมของของโหมดพื้นฐานของแบบจำลองที่มีเสาเข็มมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีส่วนร่วมร้อยละ 33-54 เนื่องจากโครงสร้างอาคารมีรูปแบบไม่ปกติ จึงทำให้โหมดการสั่นธรรมชาติมีผลของการบิดด้วยการสร้างกราฟเส้นโค้งกำลังจากการผลึกในแต่ละแกน จะเลือกใช้โหมดที่สัดส่วนการเคลื่อนที่ในแต่ละแกนมากที่สุด แบบจำลองไม่มีเสาเข็มจะเลือกใช้โหมด 1 และโหมด 2 ในการสร้างกราฟเส้นโค้งกำลังในแกน x และแกน y ตามลำดับ และแบบจำลองมีเสาเข็มจะเลือกใช้โหมด 2 ในการสร้างกราฟเส้นโค้งกำลังในแกน x และใช้โหมด 1 ในการสร้างกราฟในแกน y

3.2 ผลประเมินสมรรถนะของอาคาร

3.2.1 กรณีแบบจำลองไม่มีเสาเข็ม

ผลการผลึกโครงสร้างแบบสถิตไม่เชิงเส้น (Nonlinear

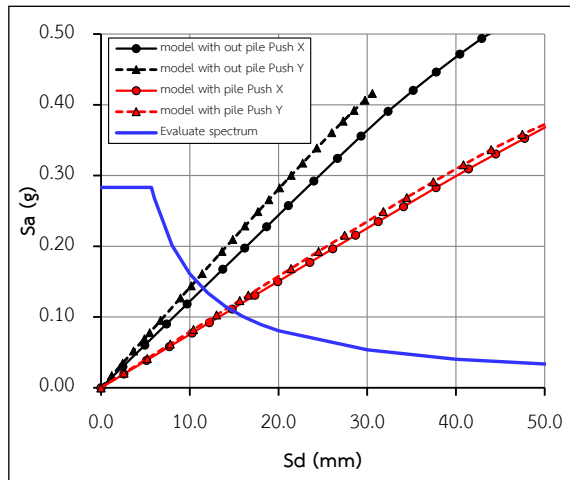


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร

Push-over) กรณีใช้แบบจำลองอาคารไม่มีเสาเข็ม กำหนดฐานรองรับที่ต่อม่อเป็นแบบยึดแน่นพบว่า อาคารสามารถต้านแรงกระทำสูงสุดตามแนวแกน x ได้ 2,056 ตัน ที่การเคลื่อนตัวของยอดอาคาร 113 มม. โดยกราฟมีการเปลี่ยนความชันที่การเคลื่อนที่ประมาณ 65 มม. ส่วนกำลังต้านตามแนวแกน y ได้ค่าที่ต่ำกว่า แต่มีความชันที่มากกว่า เนื่องจากลักษณะการวางตัวของเสาตามแกน y ให้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่สูงกว่า อย่างไรก็ตาม อาคารสามารถต้านแรงตามแกน y ได้เพียง 1,366 ตัน ที่การเคลื่อนตัวของยอดอาคาร 50 มม. โดยกราฟไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชันอย่างชัดเจน กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านกับการเคลื่อนที่ของยอดอาคารแสดงดังรูปที่ 9

ตารางที่ 2 คาบธรรมชาติที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง

Mode	แบบจำลองไม่มีเสาเข็ม				แบบจำลองมีเสาเข็ม			
	คาบ (วินาที)	Modal Participation			คาบ (วินาที)	Modal Participation		
		x	y	R		x	y	R
1	0.707	0.365	0.156	0.076	0.815	0.238	0.332	0.211
2	0.677	0.280	0.263	0.128	0.792	0.547	0.181	0.069
3	0.545	0.005	0.233	0.163	0.696	0.003	0.303	0.563
4	0.302	0.000	0.007	0.011	0.325	0.000	0.097	0.068
5	0.291	0.000	0.009	0.013	0.293	0.158	0.000	0.000
6	0.252	0.000	0.071	0.132	0.267	0.000	0.038	0.049



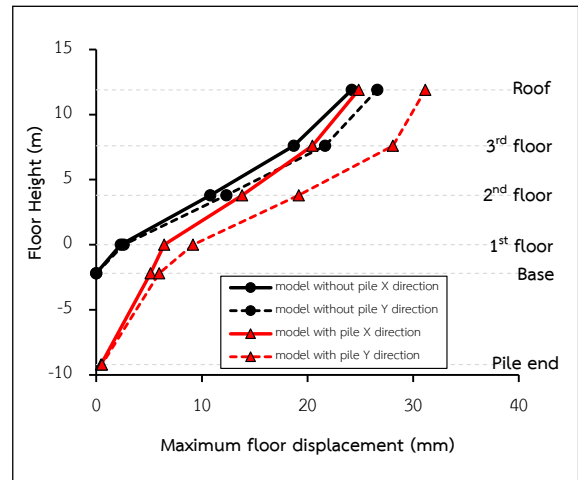
รูปที่ 10 สมรรถนะอาคาร

เมื่อนำกราฟเส้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร มาเปรียบเทียบกับกราฟแรงแผ่นดินไหวสำหรับการประเมิน โดยทำการแปลงค่าแกนนอนให้อยู่ในรูปของการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเชิงสเปกตรัม (S_d) และแกนตั้งอยู่ในรูปของความเร่ง (S_a) พบว่า จุดสมรรถนะ (จุดตัดกันระหว่างเส้นแรงผลึกกับเส้นกราฟสเปกตรัม) อยู่ที่การเคลื่อนตัวเชิงสเปกตรัม 11.54 มม. ด้วยความเร่ง 0.141 g สำหรับทิศทางตามแกน x (รูปที่ 10) และ การเคลื่อนตัวเชิงสเปกตรัม 10.73 มม. ด้วยความเร่ง 0.152 g สำหรับทิศทางตามแกน y จะเห็นว่ากราฟกำลังต้านแรงด้านข้างยังไม่มีเปลี่ยนแปลงความชันที่จุดสมรรถนะ โครงสร้างส่วนใหญ่จึงอยู่ในช่วงยืดหยุ่น ณ จุดสมรรถนะ

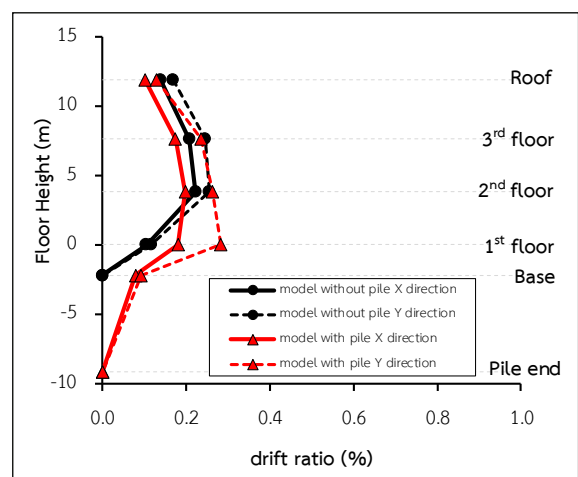
เมื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดสมรรถนะ พบว่าอาคารมีการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ชั้นบนสุด เท่ากับ 24 และ 27 มิลลิเมตร (รูปที่ 11) และเมื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวสัมพันธ์พบว่ามีค่าน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 2 ทิศทาง (รูปที่ 12) ทำให้อาคารที่สร้างด้วยแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็มมีระดับสมรรถนะสามารถเข้าใช้งานอาคารได้อย่างทันที (Immediately Operation; IO)

3.2.2 กรณีแบบจำลองมีเสาเข็ม

สำหรับกรณีแบบจำลองที่มีเสาเข็มพบว่า ลักษณะเส้นกราฟความสัมพันธ์ของแรงผลึกกับการเคลื่อนที่ของ



รูปที่ 11 การเคลื่อนที่สูงสุดของแต่ละชั้น



รูปที่ 12 การเคลื่อนที่สัมพันธ์ระหว่างชั้น

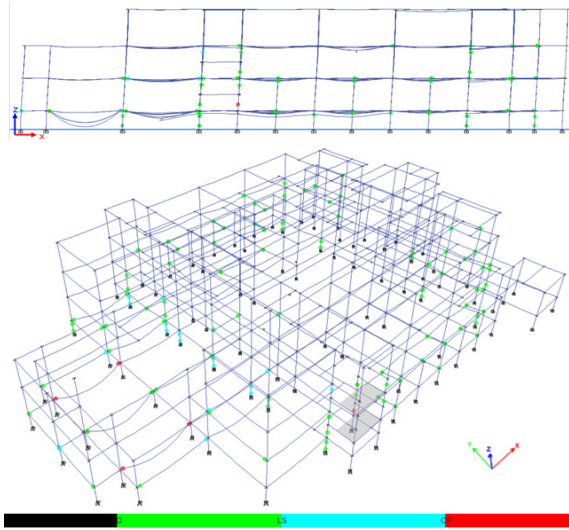
ยอดอาคาร มีลักษณะเป็นเส้นตรงจนกระทั่งการเคลื่อนที่ของยอดอาคารประมาณ 65 มม. สำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน x (รูปที่ 9) ส่วนการเคลื่อนที่ตามแนวแกน y กราฟยังไม่เปลี่ยนแปลงความชันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามกราฟมีความชันในทิศทางการผลึกตามแกน y มากกว่าแกน x เช่นเดียวกับแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม และมีความชันที่น้อยกว่าในกรณีของแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม โดยมีค่าแรงผลึกสูงสุดเท่ากับ 2,143 ที่การเคลื่อนที่ 157 มม. สำหรับทิศทางตามแกน x ในขณะที่การผลึกตามทิศทาง y พบว่า

แบบจำลองที่มีเสาเข็มให้สตีเฟนส์ที่ต่ำกว่าแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็มเช่นกัน และพบว่าสามารถต้านแรงผลึกสูงสุดได้ 1,649 ตัน ที่การเคลื่อนที่ 88 มม.

โดยแบบจำลองที่มีเสาเข็มให้กำลังต้านแรงด้านข้างในทิศทางตามแกน x ไม่ต่างจากแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม แต่ถูกผลักให้ยอดอาคารมีการเคลื่อนที่ที่มากกว่าจาก 113 มม. เป็น 157 มม. หรือคิดเป็นร้อยละ 39 ในขณะที่แรงต้านการผลึกทางทิศทาง y พบว่า แบบจำลองที่มีเสาเข็มให้การเคลื่อนที่ของยอดอาคารได้มากกว่าแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็มถึงร้อยละ 77 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก แบบจำลองที่มีเสาเข็มอาจมีรูปแบบการวิบัติที่แตกต่างจากแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม จึงทำให้โครงสร้างมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยจะกล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป

เมื่อตรวจสอบจุดสมรรถนะจากความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่ประเมิน (รูปที่ 10) พบว่า มีการเคลื่อนตัวเชิงสเปกตรัม 14.69 มม. ด้วยความเร่ง 0.111 g สำหรับทิศทางตามแกน x และการเคลื่อนตัวเชิงสเปกตรัม 14.31 มม. ด้วยความเร่ง 0.113 g สำหรับทิศทางตามแกน y ซึ่งจะเห็นว่าแบบจำลองที่มีเสาเข็มจะถูกประเมินด้วยแรงแผ่นดินไหวที่ต่ำกว่าแบบจำลองไม่มีเสาเข็มพอสมควร เนื่องจากเส้นกราฟกำลังต้านแรงด้านข้างแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็มติดกับกราฟสเปกตรัมในช่วงที่กราฟมีความชันสูง ในขณะที่แบบจำลองอาคารที่มีเสาเข็มติดกับตำแหน่งกราฟสเปกตรัมในช่วงที่เส้นกราฟเริ่มมีความชันต่ำลง แต่อย่างไรก็ตาม กราฟกำลังต้าน ณ จุดสมรรถนะยังคงเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าอาคารยังสามารถต้านแรงกระทำจากแผ่นดินไหวได้อย่างปลอดภัย ทั้งสองแบบจำลอง

เมื่อตรวจสอบการเคลื่อนตัวในแต่ละชั้น ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดสมรรถนะพบว่า อาคารมีการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ชั้น บนสุด เท่ากับ 25 และ 31 มิลลิเมตร (รูปที่ 11) สำหรับการผลึกในทิศทาง x และ y ตามลำดับ โดยแบบจำลองที่มีเสาเข็มให้การเคลื่อนตัวสูงสุดของแต่ละชั้น สูงกว่าแบบจำลองไม่มีเสาเข็มทั้งสองทิศทาง ทั้งนี้ผลของการเรียงตัวของเสาเข็ม และสปริงที่ใช้แทนดินทำให้รูปแบบการเคลื่อนที่ด้านข้างเปลี่ยนไป

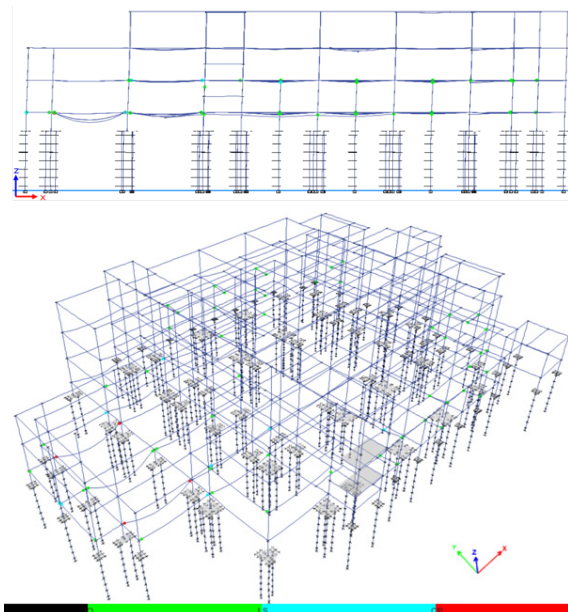


รูปที่ 13 จุดหมุนพลาสติกที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม กรณีผลึกตามแกน x

เมื่อตรวจสอบเฉพาะเกณฑ์การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์พบว่า มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1 ทั้ง 2 ทิศทาง (รูปที่ 12) ซึ่งทำให้อาคารที่สร้างด้วยแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็มมีระดับสมรรถนะสามารถเข้าใช้งานอาคารได้อย่างทันที (Immediately Operation; IO) เช่นเดียวกับแบบจำลองอาคารที่ไม่มีเสาเข็ม อย่างไรก็ตามจะต้องพิจารณาเกณฑ์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารประกอบด้วย รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 3.2.3

3.2.3 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร

แม้ว่าเกณฑ์ของการเคลื่อนตัวอาคารจะแสดงว่าอาคารอยู่ในระดับสามารถเข้าใช้งานอาคารได้อย่างทันทีหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวความรุนแรง ตาม มยผ.1303-57 [9] แต่เมื่อตรวจสอบความเสียหายในองค์อาคารหลัก ณ แรงผลึกที่จุดสมรรถนะพบว่า กรณีอาคารที่ไม่มีเสาเข็ม มีความเสียหายระดับป้องกันการพังทลาย (Collapse Prevention) ที่เสารับพื้นชั้น 2 ที่เส้นกริด L5 (รูปที่ 13) โดยเป็นความเสียหายเนื่องจากแรงเฉือน และพบคานรับพื้นชั้น 1 ที่เส้นกริด E2-E3, G2-G3 และ I2-I3 มีความเสียหายในระดับป้องกันการพังทลายด้วยแรงเฉือนและแรงดัด ส่วนตำแหน่งอื่นๆ เป็นความเสียหายในคานที่ระดับปลอดภัยต่อชีวิต (Life Safety) ด้วยแรงเฉือนและแรงดัด ซึ่งถือว่าอาคารมีความเสียหาย

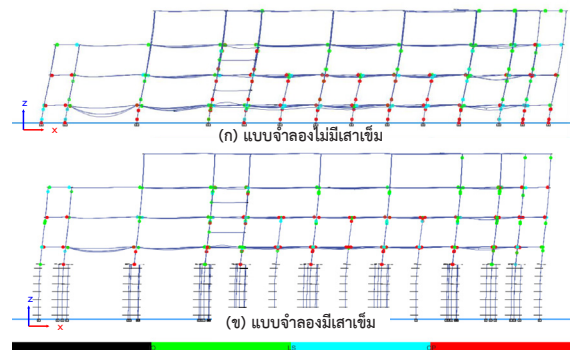


รูปที่ 14 จุดหมุนพลาสติกที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองที่มีเสาเข็ม กรณีผลัดตามแกน x

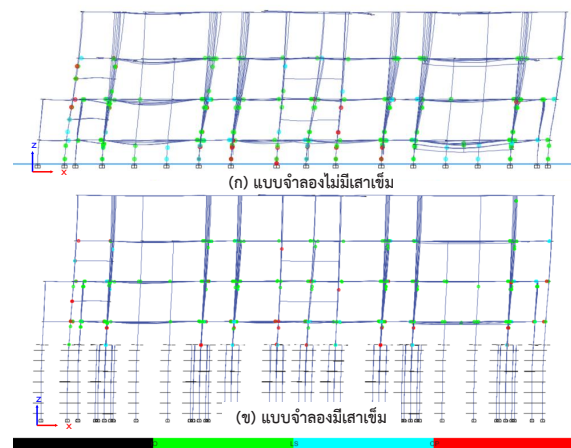
เล็กน้อย สามารถซ่อมแซมได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าการประเมินอาคารโดยใช้แบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็มอยู่ในระดับป้องกันการพังทลาย

แรงผลัดที่จุดสมรรถนะของแบบจำลองอาคารที่มีเสาเข็มจะมีค่าต่ำลง เมื่อพิจารณาจุดหมุนพลาสติกที่เกิดขึ้นพบว่า เสารับพื้นชั้น 2 ที่เส้นกริด L5 เป็นระดับปลอดภัยต่อชีวิต (รูปที่ 14) ในขณะที่เกิดจุดหมุนพลาสติกความเสียหายระดับป้องกันการพังทลายที่คานในพื้นชั้น 1 ที่เส้นกริด E2-E3, G2-G3 และ I2-I3 เช่นเดียวกับแบบจำลองอาคารที่ไม่มีเสาเข็ม จึงสามารถสรุปได้ว่าการประเมินอาคารโดยใช้แบบจำลองที่มีเสาเข็มอยู่ในระดับปลอดภัยต่อชีวิต

เมื่อศึกษาผลตอบสนองในกรณีที่มีความรุนแรงของแผ่นดินไหวมีมากกว่าที่ประเมิน โดยพิจารณาหลักไปจนกระทั่งอาคารวิบัติ โดยเกณฑ์การวิบัติกำหนดจาก จุดหมุนพลาสติกในองค์อาคารเกินกว่าจุดสุดท้ายที่สูญเสียแรงต้าน (จุด E ในรูปที่ 7) มีหลายจุดจนกระทั่งโครงสร้างอาคาร ไม่สามารถถ่ายเทแรงต้านไปยังองค์อาคารที่เหลือได้แล้ว โดยโปรแกรมจะหยุดการวิเคราะห์ผล เนื่องจากผลเฉลยจาก



รูปที่ 15 รูปแบบการวิบัติสุดท้าย กรณีผลัดตามแกน x

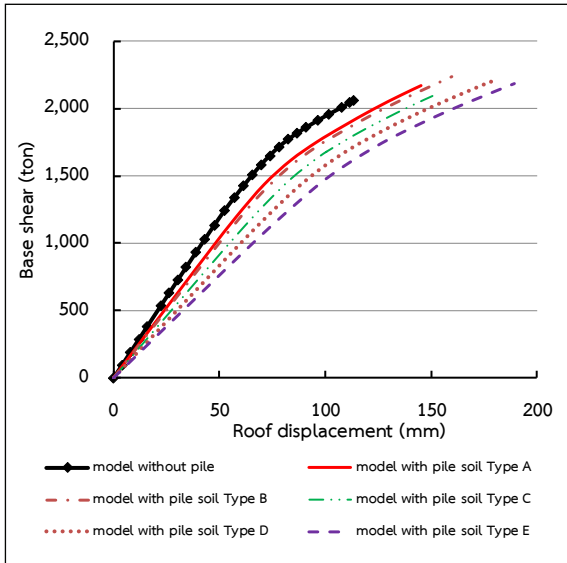


รูปที่ 16 รูปแบบการวิบัติสุดท้าย กรณีผลัดตามแกน y

กระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์ไม่ลู่เข้าพบว่า ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็มจะเป็นการวิบัติด้วยแรงเฉือนในเสาตอม่อทั้งปลายบนและปลายล่างเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่แบบจำลองที่มีเสาเข็มนั้น แสดงรูปแบบของการวิบัติด้วยแรงดัดที่โคนด้านล่างของเสาตอม่อ และการวิบัติด้วยแรงเฉือนที่ปลายบนของเสาตอม่อ (รูปที่ 15 และ 16) ซึ่งเป็นสาเหตุให้แบบจำลองที่มีเสาเข็มมีความเหนียวเพิ่มขึ้นจากแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม

3.3 การศึกษาผลของชั้นดินต่อการตอบสนองของอาคาร

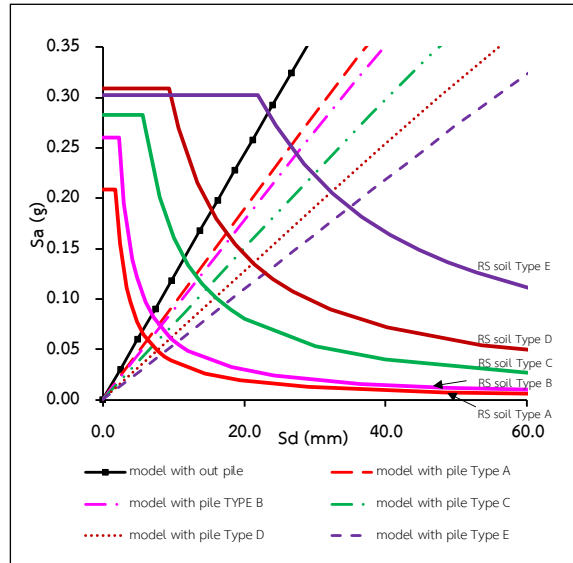
ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างอาคารภายใต้สภาวะของดินแต่ละชนิด โดยปรับเปลี่ยนค่าสตีฟเนสสปริง เพื่อจำลองว่าหากอาคารดังกล่าว ตั้งอยู่ใน



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านด้านข้างกับการเคลื่อนที่ของยอดอาคารกรณีเคลื่อนที่ทางแกน x ที่ชั้นดินประเภทต่างๆ

สภาวะของดินชนิดต่างๆ ตามที่ระบุใน มยพ.1301/1302-61 [10] แล้วจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันอย่างไร โดยใช้แบบจำลองอาคารที่มีเสาเข็มมาทำการศึกษากการเคลื่อนตัวระหว่างชั้น ในชั้นดินแบบชั้นเดียวตลอดความลึกเสาเข็ม และทำการผลึกโครงสร้างโดยศึกษาแรงในแนวแกน x เพียงทิศทางเดียว

รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลึกและการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร จะเห็นได้ว่า แรงผลึกสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 2,150-2,200 ตัน แต่แบบจำลองอาคารที่มีเสาเข็มเมื่อตั้งอยู่ในชั้นดินอ่อนมาก (ประเภท E) จะมีความชันของความสัมพันธ์ที่ต่ำที่สุด โดยมีการเคลื่อนยอดอาคารที่ 189 มม. ในขณะที่กรณีของอาคารตั้งอยู่ในชั้นดินประเภท A ซึ่งเป็นชั้นดินแข็ง มีความชันกราฟที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ตั้งอยู่ในชั้นดินประเภทอื่นๆ โดยมีการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร 145 มม. อย่างไรก็ตามเส้นความชันของกราฟในชั้นดินดังกล่าว ยังมีค่าน้อยกว่ากรณีของแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็ม ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าแบบจำลองอาคารที่รวมผลของทั้งโครงสร้างด้านบน และโครงสร้างเสาเข็มนั้น จะทำให้



รูปที่ 18 สมรรถนะอาคารในชั้นดินประเภทต่างๆ

สติพเนของโครงสร้างมีค่าลดลง และประเภทของชั้นดินมีผลอย่างมีนัยสำคัญในการเพิ่มและลดสติพเนของโครงสร้าง แต่ไม่มีผลต่อแรงต้านสูงสุดของอาคารเมื่อพิจารณาเฉพาะโครงสร้างส่วนบน

เมื่อพิจารณาแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ประเมินโครงสร้างกรณีชั้นดินอ่อนสเปกตรัมผลตอบแทนที่ใช้ประเมินโครงสร้างจะมีความเร่งที่สูงขึ้น นั่นคือแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ประเมินจะมากขึ้น เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลึกและการเคลื่อนที่ของยอดอาคารที่ชั้นดินต่างๆ มาแสดงร่วมกับสเปกตรัมที่ใช้ประเมินจะได้ดังรูปที่ 18 หากพิจารณาให้อาคารตั้งอยู่ในชั้นดินแข็ง จุดสมรรถนะของอาคาร (จุดตัดกับเส้นสเปกตรัม) ระหว่างการวิเคราะห์แบบจำลองที่มีและไม่มีโครงสร้างเสาเข็มจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย หรือกล่าวได้ว่าแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ประเมินมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย หากชั้นดินอ่อนลงจุดสมรรถนะของการวิเคราะห์แบบจำลองที่มี และไม่มีโครงสร้างเสาเข็มจะแตกต่างกันมากขึ้น กล่าวคือแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ประเมินจะแตกต่างกันมากขึ้น โดยแบบจำลองที่ไม่มีเสาเข็มจะถูกประเมินด้วยแรงแผ่นดินไหวที่มากกว่า ประมาณร้อยละ 17, 13, 27, 39 และ 49 สำหรับดินประเภท A, B, C, D และ E ตามลำดับ

หากคำนึงถึงด้านความปลอดภัย และความประหยัด ในการซ่อมเสริมกำลังอาคารแล้ว การใช้แบบจำลองที่มี ทั้งโครงสร้างด้านบน และด้านล่างพบว่า สามารถใช้แรง แผ่นดินไหวในการประเมินที่ลดลง แบบจำลองสามารถแสดง พฤติกรรมของอาคารที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงของอาคาร ได้มากกว่า และสามารถประเมินการซ่อมเสริมกำลังอาคารได้ อย่างประหยัด และมีความปลอดภัย เมื่อได้เสริมกำลังเฉพาะ ตำแหน่งที่เสี่ยงต่อการวิบัติได้แม่นยำกว่านั่นเอง

4. สรุป

จากการศึกษาผลการประเมินอาคารด้านแผ่นดินไหว อาคารเรียน 3 ชั้น ในจังหวัดพะเยา ด้วยแบบจำลองอาคาร 2 แบบที่แตกต่างกัน คือ แบบจำลองที่พิจารณาโครงสร้าง เสาค้ำโดยใช้สปริงแทนชั้นดิน และแบบจำลองที่ไม่พิจารณา โครงสร้างเสาค้ำ ซึ่งผลที่ได้เป็นกรณีศึกษาอาคารตัวอย่าง และสเปกตรัมผลตอบสนองสำหรับพื้นที่ดังกล่าวเท่านั้น อย่างไรก็ตาม สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) แบบจำลองที่พิจารณาโครงสร้างเสาค้ำ ทำให้ อาคารมีคาบธรรมชาติที่สูงขึ้น และทำให้มีรูปแบบและ สัดส่วนการเคลื่อนตัวของอาคารแตกต่างจากแบบจำลอง ที่ไม่พิจารณาเสาค้ำ

2) แบบจำลองที่พิจารณาโครงสร้างเสาค้ำทำให้ สติฟเนสการต้านแรงด้านข้างของอาคารมีแนวโน้มลดลง โดย กำลังต้านแรงกระทำสูงสุดของอาคารที่ได้จากแบบจำลอง ทั้งสองมีค่าไม่แตกต่างกัน

3) ประเภทชั้นดินมีผลต่อสติฟเนสการต้านแรง ด้านข้างของอาคาร และมีผลต่อความรุนแรงของแผ่นดินไหว ที่ใช้ประเมิน ในกรณีที่เป็ชั้นดินแข็งจุดสมรรถนะระหว่าง แบบจำลองที่ไม่พิจารณา และพิจารณาโครงสร้างเสาค้ำจะ แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่หากเป็นชั้นดินอ่อนจุดสมรรถนะ ระหว่างแบบจำลองที่ไม่พิจารณาและพิจารณาโครงสร้าง เสาค้ำจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยแรงแผ่นดินไหว ที่ใช้ประเมินอาคารที่พิจารณาโครงสร้างเสาค้ำจะลดลง จึง ทำให้การซ่อมเสริมกำลังทำได้ประหยัดขึ้น ดังนั้นโครงสร้าง ที่ตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อนจึงควรพิจารณาโครงสร้างเสาค้ำ

4) การใช้แบบจำลองอาคารที่โครงสร้างด้านบน ร่วมกับแบบจำลองเสาค้ำในการประเมิน จะพบพฤติกรรม ของอาคารที่แตกต่างจากแบบจำลองที่มีโครงสร้างด้านบน ร่วมกับฐานรองรับแบบยึดแน่นบนตอม่อเท่านั้น ซึ่งจะ ทำให้การซ่อมแซมและเสริมกำลังอาคารได้อย่างตรงจุดและ ประหยัดมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา เลขที่สัญญา FF66-UoE023 จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Bielak, "Dynamic response of non-linear building-foundation systems," *Earthquake Engineering Structure Dynamic*, vol. 6, pp. 17–30, 1978.
- [2] M. A. Ghannad and H. Jahankhah, "Site-dependent strength reduction factors for soil-structure systems," *Soil Dynamic Earthquake Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 99–110, 2007.
- [3] M. Moghaddasi, M. Cubrinovski, J. G. Chase, S. Pampanin, and A. Carr, "Probabilistic evaluation of soil-foundation-structure interaction effects on seismic structural response," *Earthquake Engineering Structure Dynamic*, vol. 40, pp. 135–154, 2011.
- [4] W. Sae-Long, S. Limkatanyu, C. Hansapinyo, T. Imjai, and M. Kwon, "Forced-based shear-flexure-interaction frame element for nonlinear analysis of non-ductile reinforced concrete column," *Journal of Applied and Computation Mechanics*, vol. 6, pp. 1151–1167, 2020.
- [5] W. Sae-Long, S. Limkatanyu, P. Panedpojaman, W. Prachasaree, N. Damrongwiriyapap,



- M. Kwon and C. Hansapinyo, "Nonlinear winker-based frame element with inclusion of shear-flexure interaction effect for analysis of non-ductile rc members on foundation," *Journal of Applied and Computation Mechanics*, vol. 7, no. 1, pp. 148–164, 2021.
- [6] A. Pimanmas, P. Chaimahawan, and P. Joyklad. *Advanced Reinforced Concrete Foundation Structure Design*, Bangkok: Civil Engineering Consultant and Training Co. Ltd., 2012 (in Thai).
- [7] M. T. Davisson, "Latetal load capacity of pile," in *49th Annual Meeting of the Highway Research Board*, Washington District of Columbia, United States, 1970, pp. 101–112.
- [8] K. Terzaghi, "Evaluation of coefficients of subgrade reaction," *Geotechnique*, vol. 5, pp. 297–326, 1955.
- [9] *Seismic Evaluation and Strengthening of Buildings and Structures*, National Standard DPT-1303-57, 2014 (in Thai).
- [10] *Seismic Resistant Design of Buildings and Structures*, National Standard DPT-1301/1302-61, 2018 (in Thai).
- [11] P. Chaimahawan, P. Wongrat, and T. Chompoorat, "Seismic response spectrum curve created from site exploration in Phayao province," *Engineering Journal of Research and Development*, vol. 28, no. 3, pp. 15–26, 2017 (in Thai).
- [12] P. Wongrat, A. Buakla, T. Chompoorat, and P. Chaimahawan, "Earthquake effect to liquefaction potential in Phayao province," *Research and Development*, vol. 31, no. 4, pp. 87–99, 2020.
- [13] Applied Technology Council, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, ATC-40 Report, Redwood City, California., 1996.