ผลกระทบของรูปแบบของการเคลื่อนที่ทางด้านข้างต่อกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารโดยวิธีการผลักแบบวัฏจักร

THE EFFECTS OF LATERAL DISPLACEMENT PATTERNS ON SEISMIC CAPACITY OF BUILDINGS BY CYCLIC PUSHOVER ANALYSIS

เทพฤทธิ์ ประสงค์วัฒนา [1]

ไพบูลย์ ปัญญาคะโป [2]

[1]นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : thepparit_m@hotmail.com

[2]รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : phaiboon.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลกระทบของรูปแบบของการเคลื่อนที่ทางด้านข้างต่อกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis ,CPA) ซึ่งอาคารที่ใช้เป็นตัวอย่างในงานวิจัยนี้ เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 14 ชั้น ระบบพื้น-เสา ซึ่งเป็นอาคารสูงตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว การวิเคราะห์นี้ใช้รูปแบบแรงกระทำผลักอาคารมีลักษณะไป-กลับแบบวัฏจักรแบบต่างๆ และเปรียบเทียบกับวิธี Modal Pushover Analysis (MPA) จากการคำนวณค่าดัชนีความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละองค์อาคารของโครงสร้าง พบว่า ค่าระดับความเสียหายของโครงสร้าง ซึ่งคำนวณด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักรมีค่าสูงกว่าวิธี MPA อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์แสดงว่า รูปแบบของการเคลื่อนที่ทางด้านข้างมีผลต่อกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักร การวิเคราะห์ด้วยวิธี Modal Pushover กำลังต้านทานแผ่นดินไหว

ABSTRACT

This paper presents the effects of lateral displacement patterns on seismic capacity of building by using Cyclic Pushover Analysis. A 14-stories reinforced concrete building was selected in this study. The building was modeled as slab-column frame located in Bangkok area, and it has not been designed for earthquake effect. Various types of lateral load patterns were employed for cyclic pushover analysis. The results were compared with those of Modal Pushover Analysis. It was found that the seismic

damages of structure computed by Cyclic Pushover Analysis were greater than those of Modal Pushover Analysis. However, the lateral displacement patterns have affected on the seismic capacity of building

KEYWORDS : Cyclic pushover analysis, Modal pushover analysis, Seismic capacity

1. บทนำ

ในปัจจุบัน วิธี Capacity Spectrum Method (Applied Technology Council, 1996) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในวิธีการนี้ อาศัยการวิเคราะห์การผลักอาคารแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Static Procedure or Pushover Analysis, PA) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารและการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร ซึ่งวิธีนี้เป็นการใช้แรงกระทำแบบสถิตผลักอาคารให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว แม้ว่าวิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่ง่ายกว่าวิธี Nonlinear Time History Analysis ซึ่งเป็นการใช้คลื่นแผ่นดินไหวกระทำต่อโครงสร้างโดยตรง แต่วิธีการผลักอาคารแบบนี้ไม่ได้แสดงพฤติกรรมในการรับแรงแผ่นดินไหวของอาคารอย่างแท้จริง เนื่องจากในเหตุการณ์แผ่นดินไหว โครงสร้างอาคารถูกแรงกระทำที่ฐานแบบกลับไปกลับมา ทำให้ระดับค่าความเสียหายที่ได้จากวิธี Pushover Analysis มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากแรงแผ่นดินไหวจริงๆ นอกจากนี้ วิธีการผลักอาคารแบบนี้ยังเหมาะสำหรับอาคารที่มีการสั่นแบบโหมดพื้นฐานเป็นหลัก ไม่เหมาะสำหรับอาคารสูงซึ่งมีผลของการสั่นในโหมดที่สูงขึ้นมาร่วมด้วย วิธีการนี้จึงได้มีการปรับปรุงให้คำนึงถึงผลกระทบของโหมดที่สูงขึ้นด้วย โดยวิธี Modal Pushover Analysis, MPA (Chopra and Goel, 2002:561-582) อย่างไรก็ตาม แรงที่ใช้ในการผลักอาคาร สำหรับการผลักในแต่ละโหมดซึ่งมีรูปแบบแปรเปลี่ยนตามรูปร่างการสั่นในแต่ละโหมดก็ยังเป็นแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารเพียงด้านเดียว

เพื่อให้การผลักอาคารมีลักษณะใกล้เคียงกับพฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหวที่แท้จริง จึงได้มีการศึกษาวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis, CPA) โดยใช้แรงกระทำผลักอาคารแบบสลับทิศเพื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของแรงกระทำแผ่นดินไหวจริงๆ ผลการศึกษา [3] พบว่า ค่าระดับความเสียหายของโครงสร้างซึ่งได้จากวิธีการผลักแบบวัฏจักรมีค่าสูงกว่าวิธีการผลักอาคารแบบทั่วไป (PA) เนื่องจากวิธีการนี้พิจารณาถึงความเสียหายสะสม(cumulative damage) ที่เพิ่มขึ้นจากแรงกระทำแบบกลับไปมา อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ไปกลับแบบวัฏจักรลักษณะต่างๆกัน

บทความนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักรในแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่ไปกลับแบบวัฏจักรลักษณะต่างๆ กัน และนำมาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี Pushover Analysis และวิธี MPA

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อวิเคราะห์กำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารด้วยวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis, CPA) โดยใช้รูปแบบของการเคลื่อนที่ไปกลับแบบวัฏจักรลักษณะต่างๆกัน และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี Pushover Analysis (PA) และวิธี Modal Pushover Analysis (MPA)

3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. โครงสร้างอาคารที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 14 ชั้นแบบ ระบบพื้น-เสา ซึ่งเป็นอาคารสูงทั่วไปที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว

2. พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร (Hysteresis behavior) ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองของ Modified Takeda

3. แรงที่นำมาใช้ในการผลักอาคารนี้ มีการกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ลักษณะต่างๆกัน 4 แบบ

4. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี Pushover Analysis (PA) และวิธี Modal Pushover Analysis (MPA)

4. การวิเคราะห์โดยวิธีการผลักแบบวัฏจักร

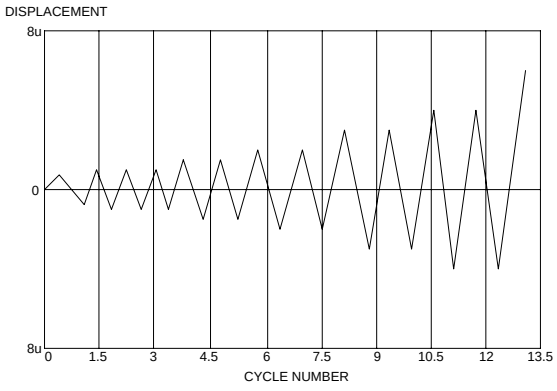
การผลักอาคารแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover) (ไพบูลย์ ปัญญาคะโป, 2552) มีหลักการโดยการกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ไป-กลับแบบสลับทิศโดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างรอบการผลักและค่าการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร (displacement history) เมื่ออาคารถูกผลักให้เคลื่อนที่ไปจนสุดระยะที่กำหนดในแต่ละรอบ ก็จะถูกผลักให้เคลื่อนที่กลับในทิศทางตรงกันข้าม เป็นไปตามการกำหนดค่าการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร รูปแบบการเคลื่อนที่ ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

4.1 การเคลื่อนที่ตามแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory-Test-like-Displacement History) ดังแสดงในตาราง 1 และภาพประกอบ 1 ดังนี้

ตาราง 1 ค่าการผลักให้อาคารเคลื่อนที่ไปในแต่ละรอบ

จำนวนรอบ	1	3	2	2	2	2	ผลักไปถึง
การเคลื่อนที่	0.75μ	μ	1.5μ	2μ	3μ	4μ	6μ

โดยที่ μ คือค่าความเหนียวของโครงสร้าง



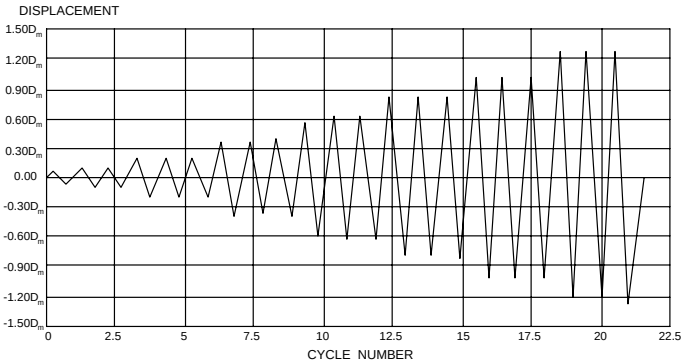
ภาพประกอบ 1 การเคลื่อนที่ตามแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.2 การเคลื่อนที่แบบ ISO Displacement ดังแสดงในตาราง 2 และภาพประกอบ 2 ดังนี้

ตาราง 2 ค่าการผลักให้อาคารเคลื่อนที่ไปในแต่ละรอบ

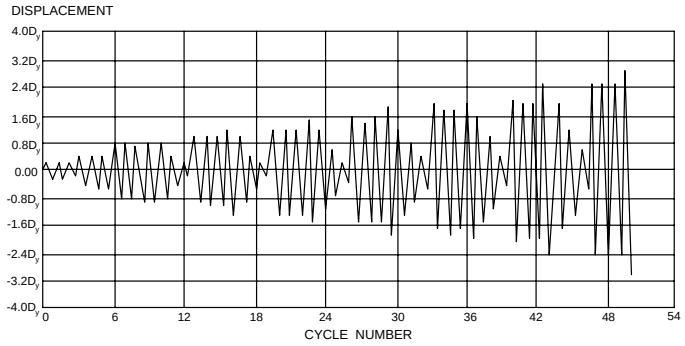
จำนวนรอบ	1	2	3	3	3	3	3	3
การเคลื่อนที่	$0.06D_m$	$0.09D_m$	$0.18D_m$	$0.42D_m$	$0.60D_m$	$0.78D_m$	$1.02D_m$	$1.26D_m$

โดยที่ D_m คือค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ยอดอาคาร



ภาพประกอบ 2 การเคลื่อนที่แบบ ISO Displacement

4.3 การเคลื่อนที่แบบ SPD Displacement ดังแสดงในภาพประกอบ 3 ดังนี้



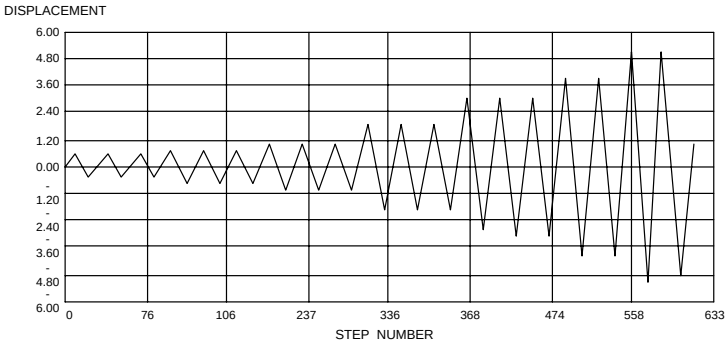
ภาพประกอบ 3 การเคลื่อนที่แบบ SPD Displacement

4.4 การเคลื่อนที่แบบ ATC-24 Displacement ดังแสดงในตาราง 3 และภาพประกอบ 4 ดังนี้

ตาราง 3 ค่าการผลักให้อาคารเคลื่อนที่ไปในแต่ละรอบ

จำนวนรอบ	3	3	3	3	3	2	2
การเคลื่อนที่	$0.48D_Y$	$0.72D_Y$	$0.96D_Y$	$1.92D_Y$	$3.0D_Y$	$4.08D_Y$	$5.04D_Y$

โดยที่ D_Y คือค่าการเคลื่อนที่ที่พิกัดยืดหยุ่น



ภาพประกอบ 4 การเคลื่อนที่แบบ ATC-24 Displacement

5. อาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์

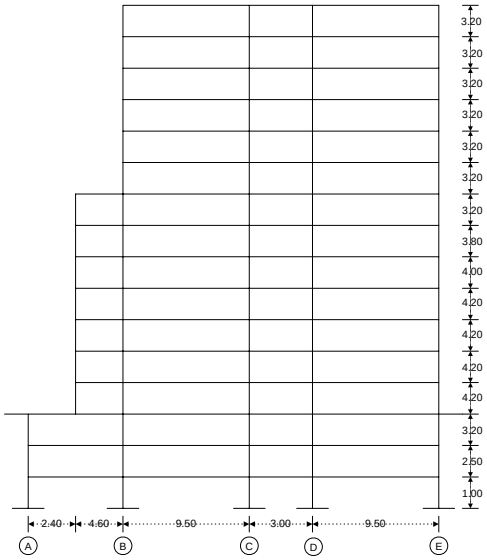
ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 14 ชั้น ซึ่งมีชั้นใต้ดิน 2 ชั้น ระบบพื้น-เสา (Slab-Column Structure) โดยมิได้ออกแบบให้ต้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นอาคารเรียนของสถานศึกษาแห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานครมาเป็นกรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

ก. ผังอาคารมีขนาด 110.70x29.00 เมตร ความสูงทั้งหมด 50.50 เมตร ภายในอาคารใช้อิฐมอญเป็นกั้นเป็นห้องเรียน

ข. พื้นอาคารตั้งแต่พื้นชั้นใต้ดินถึงพื้นชั้นสองเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 32 ซม. และตั้งแต่พื้นชั้นที่ 3-14 เป็นแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบคอนกรีตอัดแรงหนา 25 ซม.

ค. เสาในแนวแกนที่ใช้พิจารณาในการวิเคราะห์นี้ มีขนาด 0.80x0.80 ม. โดยมีการเสริมเหล็กแตกต่างกัน

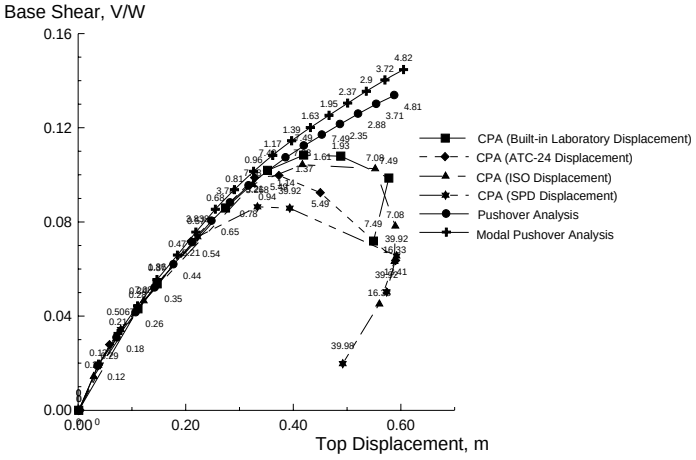
ง. คอนกรีตมีค่ากำลังอัดประลัย 320 กก./ตร.ซม. ระบบพื้นเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงโดยใช้เส้นลวดเหล็ก 7-Wire Strand เกรด 270 ø 12.7 มม. โดยมีค่าคุณสมบัติของเหล็กเสริมดังนี้ คือ กำลังแรงดึงที่จุดครากมีค่า 4,000 กก./ตร.ซม.



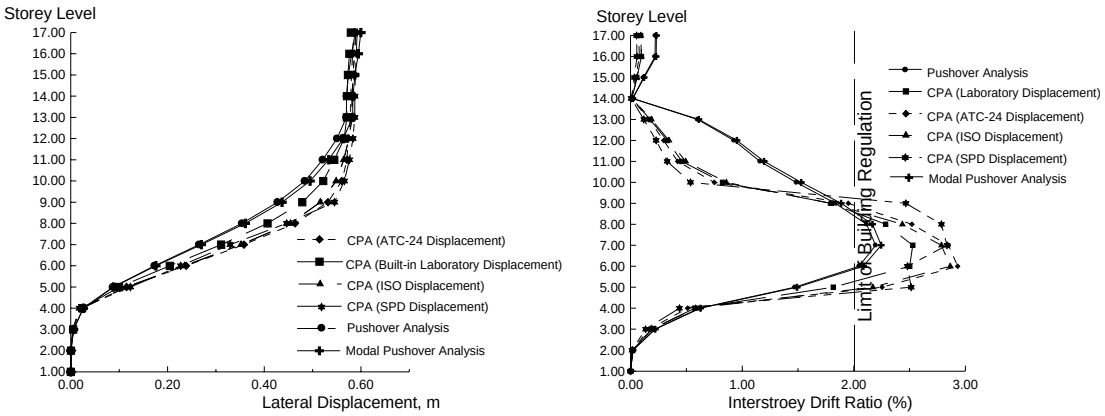
ภาพประกอบ 5 แบบจำลองโครงสร้างอาคาร 2 มิติ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้

6. ผลการวิเคราะห์

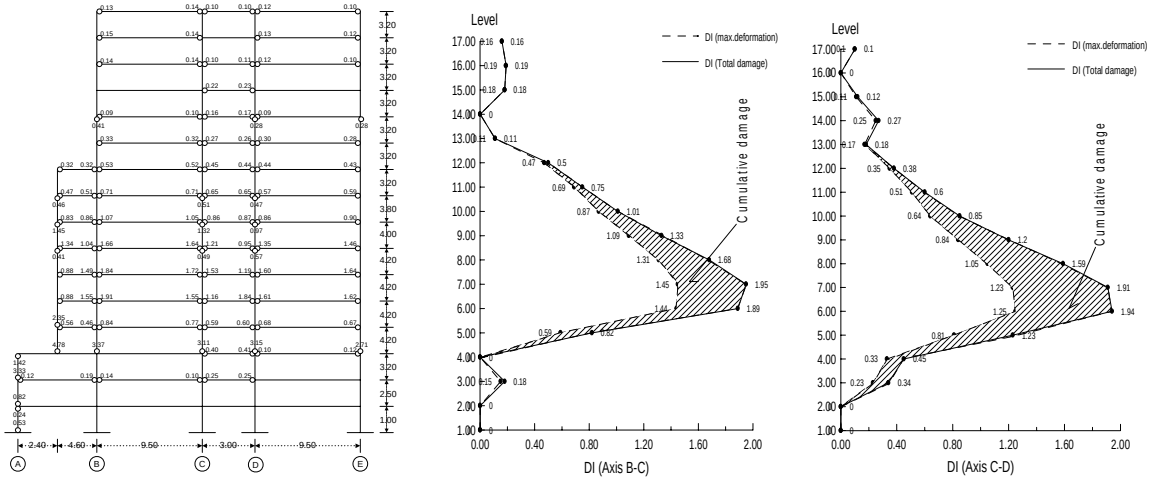
ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (Carr, 2006) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ยอดอาคารดังรูปที่ 6 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ได้ จะเห็นว่า ค่าแรงเฉือนที่ฐานที่ได้จากวิธี CPA มีการตกของแรงที่ปลายเส้นกราฟ เนื่องจากแรงที่กระทำแบบไปและกลับต่อโครงสร้าง ส่งผลทำให้กำลังต้านทานของโครงสร้างอาคารลดลง และค่าระดับความเสียหายที่ได้จากวิธี CPA มีค่าสูงกว่าการผลักแบบปกติ (Pushover) และวิธี MPA เนื่องจากมีการสะสมของค่าความเสียหายของโครงสร้างที่เกิดจากแรงกระทำแบบไปและกลับต่อโครงสร้าง



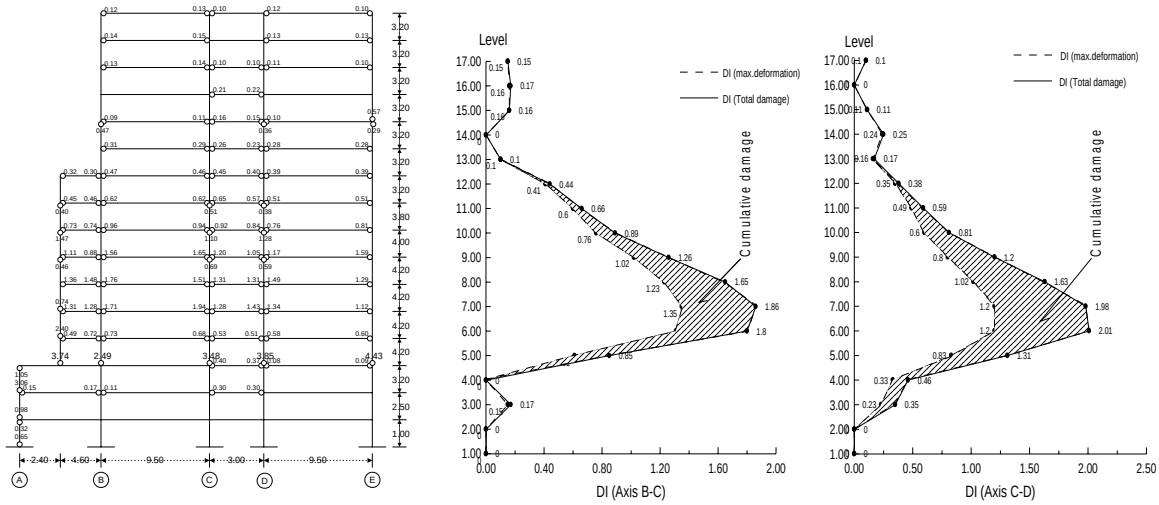
ภาพประกอบ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวที่ยอดอาคาร



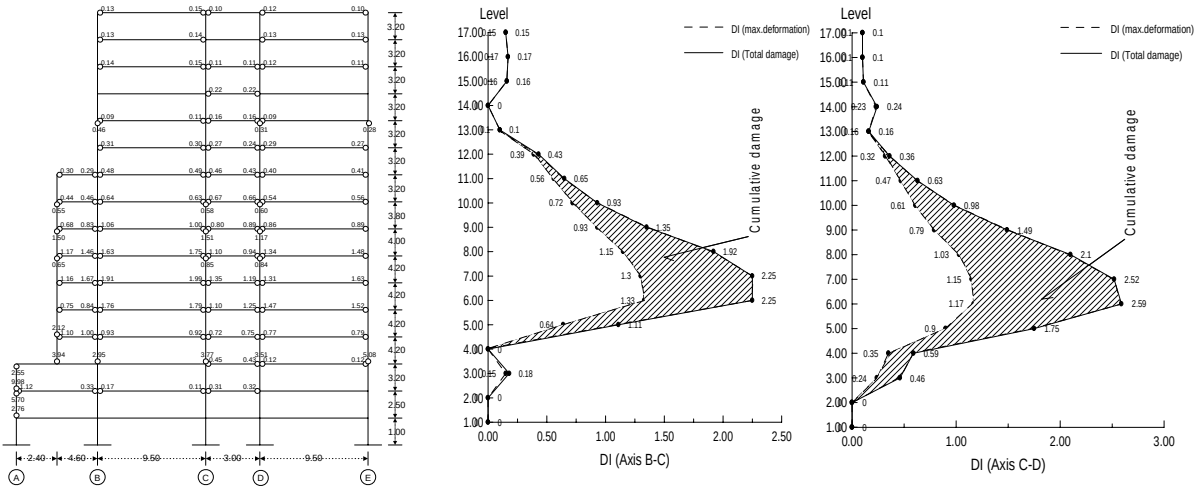
ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของชั้นและการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น



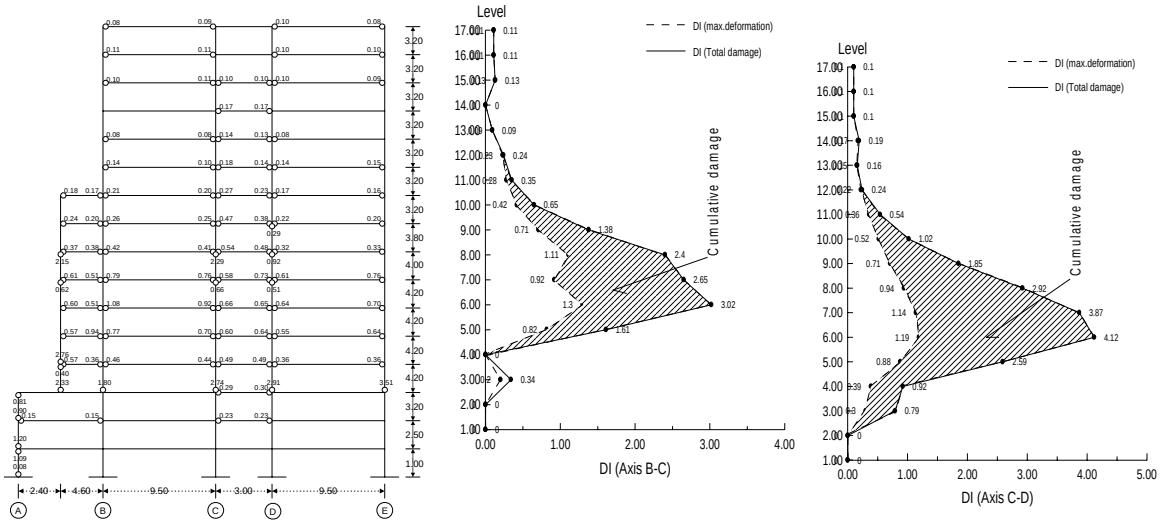
ภาพประกอบ 8 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี CPA ของการเคลื่อนที่แบบ Laboratory-Test-like-Displacement History



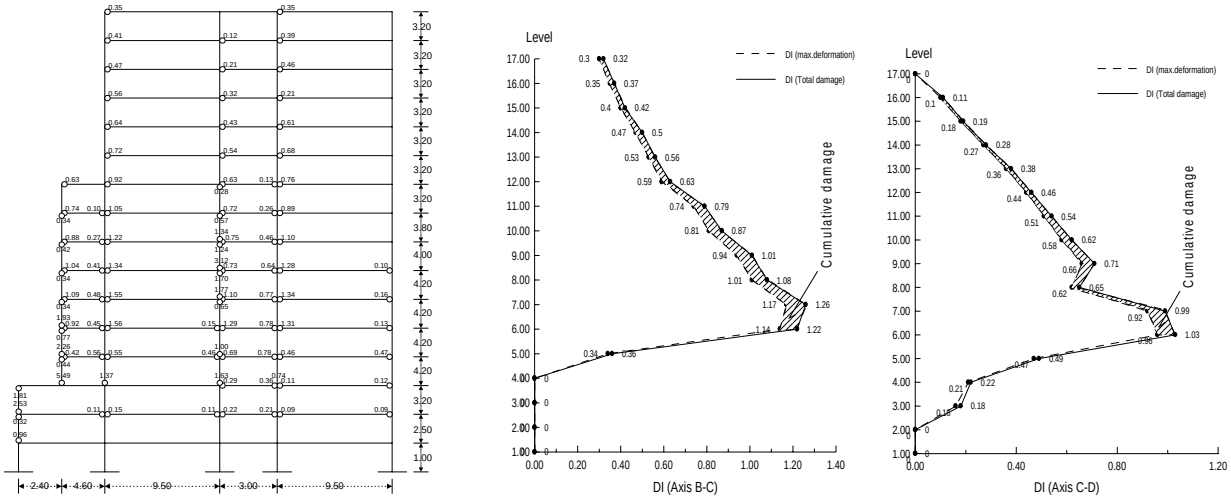
ภาพประกอบ 9 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี CPA ของการเคลื่อนที่แบบ ATC



ภาพประกอบ 10 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี CPA ของการเคลื่อนที่แบบ ISO



ภาพประกอบ 11 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี CPA ของการเคลื่อนที่แบบ SPD



ภาพประกอบ 12 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี MPA

เมื่อพิจารณาเฉพาะผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธี CPA ในรูปที่ 6 พบว่า ค่าแรงเฉือนที่ฐานที่ได้จากการเคลื่อนที่แบบ SPD Displacement มีการตกของแรงมากที่สุดและสอดคล้องกับค่าระดับความเสียหายที่มากที่สุดด้วย เมื่อเทียบกับทุกรูปแบบการเคลื่อนที่ เนื่องจากรูปแบบการเคลื่อนที่ทางด้านข้างแบบ SPD Displacement นั้นมีความถี่ของจำนวนการเคลื่อนที่ที่มากกว่า และค่าการเคลื่อนที่ไปและกลับในช่วงท้ายมีค่าที่สูงมากติดๆ กัน

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความเสียหายที่ข้อหมุนพลาสติก (Plastic hinge) ในรูปที่ 8-12 ซึ่งเป็นค่าดัชนีความเสียหายเมื่อโครงสร้างเคลื่อนตัวไปสูงสุดพบว่า มีข้อหมุนพลาสติกเกิดขึ้นทั้งเสาและปลายช่วงคานเสมือนและระดับความเสียหายเกิดขึ้นในระดับชั้นล่างมากกว่าชั้นบน ซึ่งระดับความเสียหายรุนแรงมาก พบในพื้นชั้นที่ 6-8 และในเสาชั้นที่ 3-5 มีค่าดัชนีความเสียหายมากกว่า 1.00 ขึ้นไปเป็นระดับความเสียหายรุนแรง ซึ่งไม่อาจซ่อมแซมได้ในระดับชั้นเหล่านี้

เมื่อพิจารณาแยกส่วนความเสียหายของโครงสร้างจากการโก่งตัวและความเสียหายสะสมจากพฤติกรรมรับแรงแบบวัฏจักรของอาคารพบว่า ค่าความเสียหายที่เพิ่มขึ้นจากความเสียหายสะสม (cumulative damage, ส่วนที่แรเงา) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในระดับชั้นที่ 5-8 เนื่องจากผลของค่าความเสียหายสะสมของโครงสร้างอาคารจากพลังงานที่ดูดซับในโครงสร้างอันเป็นผลมาจากวิธีการผลักแบบวัฏจักร

เมื่อเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้น ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นต่อความสูงของชั้น และจำนวนชั้น ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า ค่าการเคลื่อนที่ของชั้นจากวิธี MPA ให้ค่าน้อยกว่าวิธี CPA ในทุกรูปแบบการเคลื่อนที่ สำหรับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น ผลจากวิธี CPA ให้ค่าที่มากในระดับชั้นที่ 1-9 ในขณะที่ ผลจากวิธี MPA ให้ค่าที่มากในระดับชั้นที่ 10-17 ผลการคำนวนนี้สอดคล้องกับการเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายเมื่อคำนวนด้วยวิธีทั้งสองนี้

7. สรุป

1. รูปแบบการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักรมีผลต่อกำลังต้านทานแผ่นดินไหวและค่าระดับความเสียหายของอาคาร

2. ผลการผลักอาคารด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักรให้ค่าระดับความเสียหายที่มากกว่าการผลักอาคารแบบปกติ เนื่องจากค่าความเสียหายที่เพิ่มขึ้นจากความเสียหายสะสมในองค์อาคาร มีค่าเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน

3. เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี CPA กับวิธี MPA และ Pushover แบบเดิม พบว่า ค่าการเคลื่อนที่ของชั้นจากวิธี MPA และ Pushover แบบเดิม ให้ค่าน้อยกว่า วิธี CPA สำหรับค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุด ผลจากวิธี CPA ให้ค่าที่มากกว่าในช่วงชั้นล่าง แต่กลับให้ค่าที่น้อยกว่าในช่วงชั้นบน

8. รายการอ้างอิง

ไพบูลย์ ปัญญาคะโป, 2552. **“**กำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารโดยวิธีการผลักแบบวัฏจักร.**” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14**, พฤษภาคม.

เป็นหนึ่ง วานิชชัย และสืบพงศ์ เกียรติวิศาลชัย, 2544. **“**การประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารคอนกรีต.**” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 7,** พฤษภาคม.

Applied Technology Council, 1996. **Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (Report No. ATC-40)**. California.

Carr, A.J., 2006. **Ruaumoko User Manual**. New Zealand : University of Canterbury.

Chopra, A. K. and Goel, R. K., 2002. **"**A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings.**" Earthquake Engineering and Structural Dynamics.** 31 : 561–582.