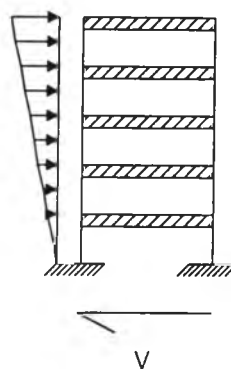


บทที่ 4

พฤติกรรมอาคารเรียนภายใต้แรงแผ่นดินไหว

4.1 พฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารเรียนภายใต้การวิเคราะห์โดยใช้แรงดันด้านข้างแบบสถิต

การวิเคราะห์โดยใช้แรงดันด้านข้างเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสามารถในการต้านทานแรงด้านข้างของโครงสร้างและพฤติกรรมการตอบสนองของอาคาร โดยใช้แรงดันด้านข้างกระทำกับอาคารเพิ่มขึ้นจนกระทั่งโครงสร้างเกิดการวิบัติ รูปแบบของการกระจายของแรงดันด้านข้างที่ใช้มีหลายรูปแบบ แต่เนื่องจากลักษณะการสั่นของอาคารภายใต้แรงแผ่นดินไหวจะมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบโหมดที่ 1 เป็นหลัก ทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารมีลักษณะคล้ายกับอาคารที่ได้รับแรงกระทำด้านข้างที่มีการกระจายแบบรูปสามเหลี่ยมหัวกลับ ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้จะใช้แรงดันด้านข้างที่มีการกระจายเป็นรูปดังกล่าว การให้แรงดันด้านข้างกระทำกับอาคารจะกระทำภายหลังจากการให้แรงในแนวดิ่ง โดยพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่เพื่อพิจารณาผลของแรงในแนวดิ่ง รวมกับผลของแรงกระทำด้านข้าง โดยรวมผลของ $P-\Delta$ ในการคำนวณด้วย การให้แรงดันด้านข้างจะกระทำจนกระทั่งอาคารเกิดการวิบัติ และเนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้อาศัยค่าดัชนีความเสียหายในการบอกถึงระดับความเสียหายของโครงสร้าง ดังนั้นจึงกำหนดให้การวิบัติของอาคารเกิดขึ้นเมื่อค่าดัชนีความเสียหายของชั้นใดชั้นหนึ่ง มีค่าเกิน 1.00



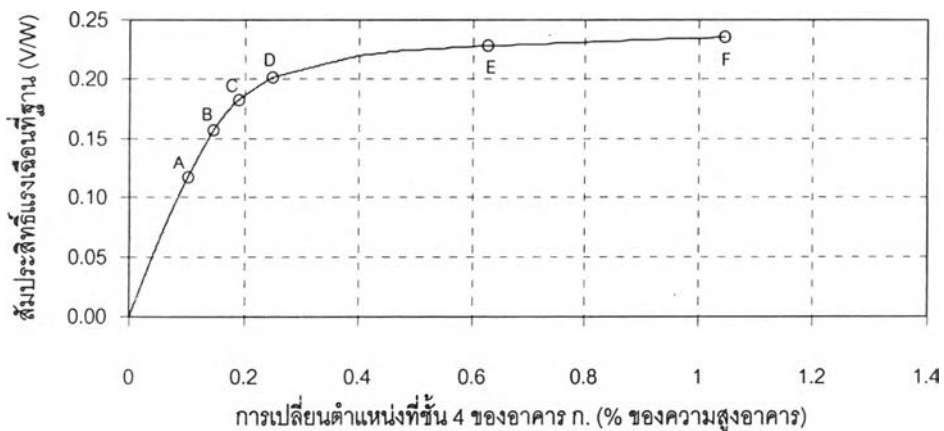
รูปที่ 4.1 แรงกระทำด้านข้างภายใต้การวิเคราะห์แบบสถิต

4.1.1 อาคารเรียน ก. ภายใต้แรงดันด้านข้างแบบสถิต

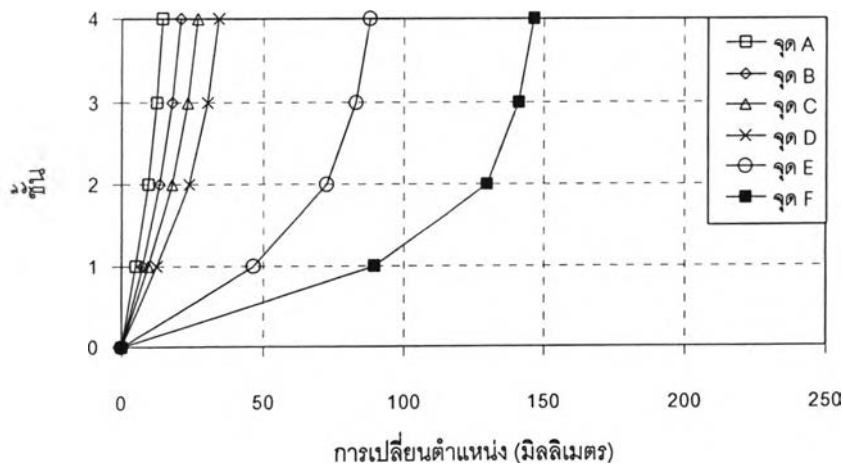
จากการวิเคราะห์พบว่าความถี่ธรรมชาติของอาคาร ก. มีค่า 1.87 เฮิรตซ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนของอาคาร ก. แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดมีค่า 0.24 และได้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 4 มีค่า 1.05 % ของความสูงอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานที่ได้มีค่าค่อนข้างสูง เมื่อ

เปรียบเทียบกับการศึกษาอาคารที่มีความสูง 3 ชั้นของ Kunnath และคณะ (1992) ซึ่งได้ค่าเพียง 0.06 และการศึกษาของ Bracci และคณะ (1992) ซึ่งได้ค่า 0.15 แต่ได้ค่าที่ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Wu (1995) ซึ่งได้ค่าอยู่ในช่วง 0.30 - 0.40 และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Beres (1994) พบว่าได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยได้ค่าเท่ากับ 0.25

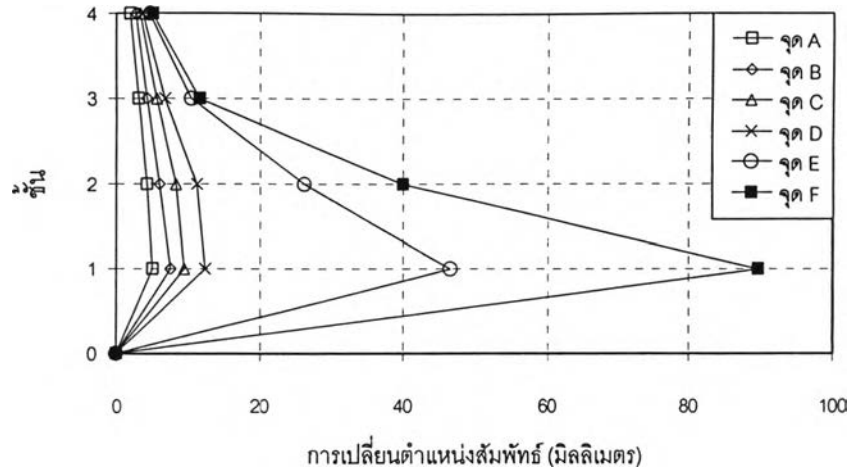
เนื่องจากระบบโครงสร้างของอาคาร เป็นระบบโครงข้อแข็ง ประกอบกับความสูงของอาคารไม่มากนัก ทำให้รูปแบบการการโก่งตัวด้านข้างของอาคารภายใต้แรงกระทำด้านข้างจึงเป็นแบบเฉือน (Shear mode) โดยการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะเกิดขึ้นมากในบริเวณชั้นล่าง และจะมีค่าลดลงในชั้นที่สูงขึ้น รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ และรูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานต่างๆ กันของอาคาร ก.



รูปที่ 4.2 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 4 ของอาคารเรียน ก. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต



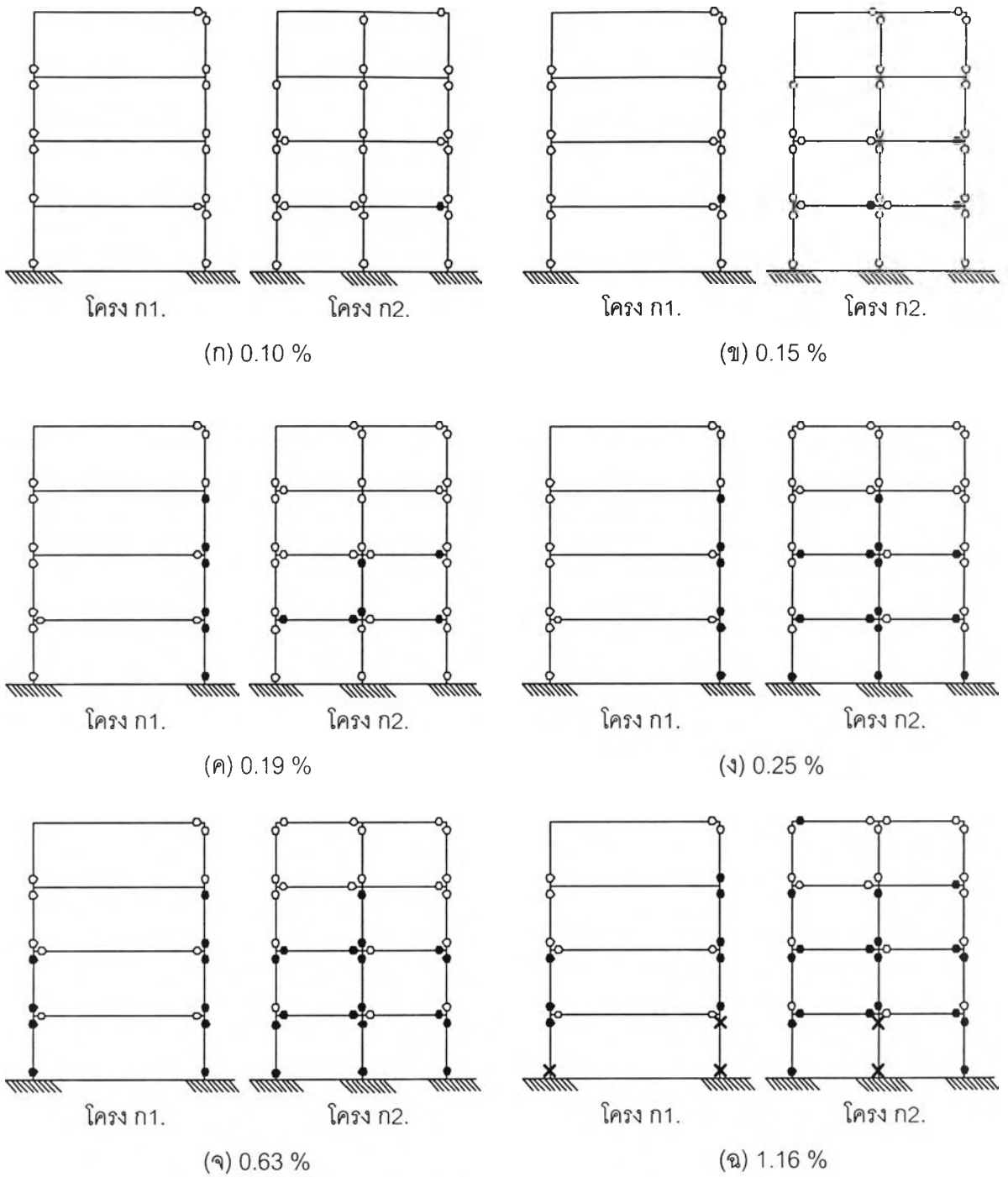
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารเรียน ก. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของอาคารเรียน ก. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้าง แบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 4.2

จากรูปที่ 4.2 พบว่าในช่วงแรกของการให้แรงดันด้านข้าง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเฉือนและการเปลี่ยนตำแหน่งชั้นบนของอาคาร ยังมีลักษณะเป็นเส้นตรง จุด A เป็นตำแหน่งที่พบว่าเกิดการครากในชั้นส่วนเป็นครั้งแรกโดยการครากเกิดขึ้นในคานที่ชั้นที่ 2 ของโครงที่ ก2. โดยมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบน เท่ากับ 0.10 % ของความสูงอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือน เท่ากับ 0.12 อาคารเริ่มมีพฤติกรรมแบบไร้เชิงเส้นแต่ยังไม่ชัดเจน เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่ของอาคารยังมีพฤติกรรมแบบเชิงเส้น และจากรูปที่ 4.4 พบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นเกิดขึ้นมากในชั้นที่ 1 และ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 5.0 มิลลิเมตร และ 4.2 มิลลิเมตรตามลำดับ เนื่องจากในเสาในชั้นล่างๆ ได้รับแรงเฉือนสะสมสูงกว่าเสาที่อยู่ที่ชั้นบน

จุด B เป็นจุดที่เริ่มเกิดการครากขึ้นในเสาเป็นครั้งแรก โดยเกิดขึ้นที่เสาชั้นที่ 2 ของโครง ก1. โดยที่สภาวะนี้จะมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบน เท่ากับ 0.15 % ของความสูงอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนพื้นฐาน เท่ากับ 0.16 พฤติกรรมไร้เชิงเส้นของอาคารจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดความเสียหายในอาคารมากขึ้น สติเฟเนสของอาคารลดลงเรื่อยๆ ตามค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนพื้นฐานที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นมีลักษณะคล้ายเดิม แต่มีขนาดมากขึ้นดังรูปที่ 4.4 และจุด E เป็นจุดที่แรงดันด้านข้างเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเกิดการครากที่ปลายบนและล่างของเสาชั้นที่ 1 ตลอดทั้งชั้น การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นที่สภาวะนี้จะเกิดขึ้นมากในชั้นที่ 1 อย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากเกิดความเสียหายในเสาชั้นที่ 1 อย่างมาก ซึ่งจะแสดงในส่วนต่อไป จุด F ถือเป็นจุดวิบัติของอาคาร



สัญลักษณ์สำหรับรูปแบบความเสียหาย

- รอยร้าวในเสาหรือคาน
- รอยครากในเสาหรือคาน
- × การวิบัติในเสาหรือคาน

รูปที่ 4.5 รูปแบบความเสียหายของอาคารเรียน ก. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 4 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร

สำหรับรูปแบบความเสียหายของอาคารสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 โดยการให้แรงดันด้านข้างกระทำกับอาคารเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดรอยร้าวกระจายไปในชั้นส่วนของอาคารทั้งในเสาและในคาน เมื่อแรงดันด้านข้างเพิ่มขึ้น จนการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.10 % ของความสูงอาคาร ดังรูปที่ 4.5ก จะเกิดการครากเป็นครั้งแรกในคานชั้นที่ 1 ของโครง ก2. เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่เกิดการรวมแบบเสริมกันของโมเมนต์ลบที่เกิดจากแรงในแนวตั้ง และโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันด้านข้าง ประกอบกับการเสริมเหล็กในคานดังกล่าวมีปริมาณเหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบน้อยโดยมีปริมาณน้อยกว่าเหล็กเสริมรับโมเมนต์บวกถึงแม้ว่าจะเป็นบริเวณปลายคานก็ตาม และมีปริมาณน้อยกว่าเหล็กเสริมของคานในโครง ก1. มาก

เมื่อแรงดันด้านข้างกระทำเพิ่มขึ้น ความเสียหายที่เกิดในชั้นส่วนต่างๆ เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.5ข ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 4 เท่ากับ 0.15 % ของความสูงอาคาร พบว่าเกิดการครากเป็นครั้งแรกที่เสาด้านขวาในชั้นที่ 2 ของโครง ก1. เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่เกิดการรวมของโมเมนต์แบบเสริมกันของแรงในแนวตั้งและแรงดันด้านข้าง โดยเฉพาะโมเมนต์ลบที่เกิดจากแรงในแนวตั้งในคานของโครง ก1. จะถ่ายไปสู่เสาได้มากกว่าคานในโครง ก2. เนื่องจากความยาวช่วงคานในโครง ก1. ที่มากกว่า นอกจากนี้ การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นที่มากในชั้นดังกล่าว ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการครากขึ้น ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นในชั้นที่ 2 น้อยกว่าในชั้นที่ 1 แต่เนื่องจากการลดปริมาณเหล็กเสริมในเสาในชั้นที่ 2 ลง ทำให้เสาในชั้นที่ 2 เกิดการครากก่อนในชั้น 1 นอกจากนี้ พบว่าตำแหน่งที่เกิดการครากของคานในชั้นที่ 2 ของโครง ก2. มีจำนวนเพิ่มขึ้น

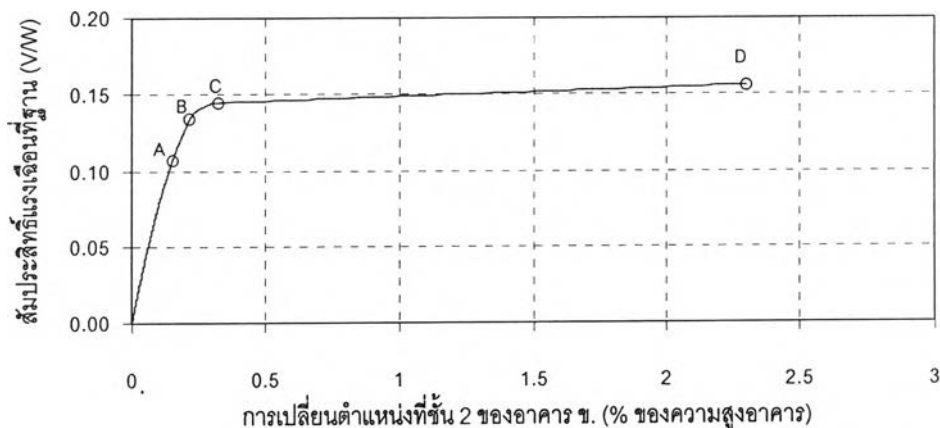
รูปที่ 4.5ค เป็นรูปแบบความเสียหายเมื่อการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.19 % ของความสูงอาคาร เกิดการครากในเสาชั้นที่ 1, 2 และ 3 ของโครง ก1. มากขึ้น ในขณะที่ยังไม่พบการครากในคานของโครง ก1. และเริ่มเกิดการครากในเสากายใน ของชั้นที่ 2 ในโครง ก2. ในขณะที่ยังไม่พบการครากในเสากายนอก เนื่องจากเสากายในต้องรับโมเมนต์เนื่องจากแรงดันด้านข้างมากกว่าเสากายนอก

เมื่อแรงกระทำมากขึ้นจะพบความเสียหายมากขึ้น โดยที่การเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 4 เท่ากับ 0.25 % ของความสูงอาคาร ดังรูปที่ 4.5ง โดยจะพบการครากเกิดขึ้นในส่วนล่างของเสาทุกต้นในชั้นที่ 1 ของโครง ก2. และที่เสากายในจะเกิดการครากที่ส่วนบนของเสาด้วย นอกจากนี้พบการครากที่ส่วนบนและล่างของเสากายในและคานของชั้นที่ 3

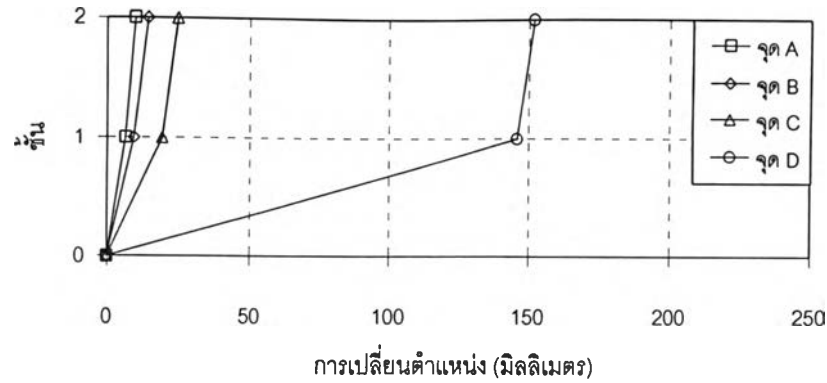
และเมื่อการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 4 เท่ากับ 0.63 % ของความสูงอาคาร จะเกิดการครากของเสาทั้งส่วนบนและล่างของเสาในชั้นที่ 1 ตลอดทั้งชั้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นที่ 1 มากดังได้กล่าวมาแล้ว โครงสร้างเริ่มขาดเสถียรภาพ หลังจากจุดนี้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยขณะที่การเปลี่ยนตำแหน่งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนทำให้เกิดการวิบัติของอาคารในที่สุดเมื่อการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 4 เท่ากับ 1.05 % และที่สภาวะดังกล่าวเกิดการวิบัติของเสาชั้นที่ 1 ของโครง ก1. และเสายาวในของโครง ก2. เนื่องจากเสาดังกล่าวต้องรับแรงในแนวแกนมากทำให้ความเหนียวของเสาดังกล่าวน้อยเมื่อเทียบกับเสาอื่นๆ ในชั้นเดียวกัน

4.1.2 อาคารเรียน ข. ภายใต้แรงดันด้านข้างแบบสถิต

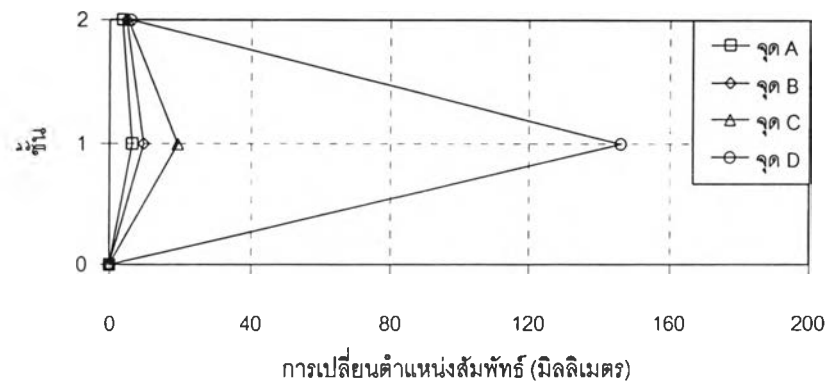
จากการวิเคราะห์ความถี่ของอาคารพบว่าอาคาร ข. ความถี่ธรรมชาติของอาคาร มีค่า 2.19 เฮิรตซ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนของอาคาร ข. แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดเท่ากับ 0.16 และได้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดของชั้นที่ 2 เท่ากับ 2.30 % รูปแบบการโก่งตัวของอาคารภายใต้แรงกระทำด้านข้างเป็นแบบเฉือนเช่นเดียวกับอาคาร ก. โดยมีการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นที่ 1 มากกว่าชั้นที่ 2 รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ และรูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานต่างๆ กันของอาคาร ข.



รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 2 ของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างแบบสถิต



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้าง แบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้าง แบบสถิต ณ จุดต่างๆ ในรูปที่ 4.6

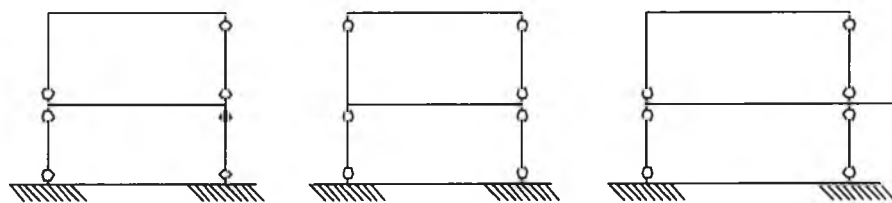
จากรูปที่ 4.6 จุด A เป็นตำแหน่งที่เกิดการครากในชั้นส่วนเป็นครั้งแรก โดยเกิดขึ้นที่ส่วนบนของเสาชั้นที่ 1 ของโครง ข1. ซึ่งเป็นโครงภายนอกของอาคาร เนื่องจากโครง ข1. ต้องรับน้ำหนักของผนังอาคาร ซึ่งเป็นผนังก่ออิฐ ทำให้มีโมเมนต์เนื่องจากแรงในแนวตั้งมากกว่าโครง ข2. และตำแหน่งดังกล่าวก็เป็นตำแหน่งซึ่งเกิดการรวมแบบเสริมกันของโมเมนต์ที่เกิดจากแรงในแนวตั้ง และโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันด้านข้าง ประกอบกับปริมาณเหล็กเสริมในเสามีน้อยกว่าเสาในโครง ข3. ที่จุดดังกล่าวมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นบนเท่ากับ 0.15 % ของความสูงของอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือน เท่ากับ 0.10 และจากรูปที่ 4.8 พบว่าการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นเกิดขึ้นมากในชั้นที่ 1 มีค่าเท่ากับ 6.3 มิลลิเมตร

จุด B เป็นจุดที่การครากขยายไปสู่เสาชั้นที่ 1 ในโครง ข2. ซึ่งเสามีการเสริมเหล็กเหมือนเสาในโครง ข1. และจุด C เป็นจุดที่เกิดการครากที่ส่วนล่างและบนของเสาในชั้นที่ 1 ทั้งชั้นที่สภาวะนี้มีการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 2 เท่ากับ 24.5 มิลลิเมตร และค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่

ฐาน เท่ากับ 0.15 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์มีค่ามากในชั้นที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 19.2 มิลลิเมตร หลังจากนั้นการเปลี่ยนตำแหน่งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเกิดการวิบัติของอาคารที่จุด E เนื่องจากการวิบัติของชั้นที่ 1 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นที่ 1 เพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน โดยมีค่าเท่ากับ 146 มิลลิเมตร

รูปแบบความเสียหายของอาคารสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 โดยเมื่อแรงดันด้านข้างเพิ่มขึ้นจนการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.15 % ของความสูงอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.9ก พบว่าเกิดการครากเป็นครั้งแรกในส่วนบนของเสาชั้นที่ 1 ของโครง ข1. และติดตามด้วยการครากของเสาส่วนล่างของเสาในชั้นที่ 2 เนื่องจากสาเหตุต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การครากจะขยายไปสู่เสาชั้นที่ 1 ในโครงต่างๆ ตามแรงดันด้านข้างที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.9ข - 4.9ง โดยจะพบว่าไม่เกิดความเสียหายที่ปลายคานแม้แต่รอยร้าว เนื่องมาจากกำลังรับโมเมนต์ของคานสูงกว่ากำลังของเสามาก แต่จะพบรอยร้าวขึ้นในช่วงกลางของคานขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยรอยร้าวดังกล่าวไม่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.9

ที่จุดวิบัติของอาคาร จะพบการวิบัติเกิดขึ้นก่อนในเสาชั้นที่ 1 ของโครงที่ ข3. ซึ่งเป็นโครงส่วนใหญ่ของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.9ง เนื่องมาจากเสาดังกล่าวรับแรงในแนวแกนมากกว่าเสาอื่นทำให้ความเหนียวของเสาดังกล่าวต่ำกว่าเสาอื่น ถึงแม้ว่ากำลังรับโมเมนต์ของเสาดังกล่าวจะสูงกว่าเสาอื่นก่อนตาม

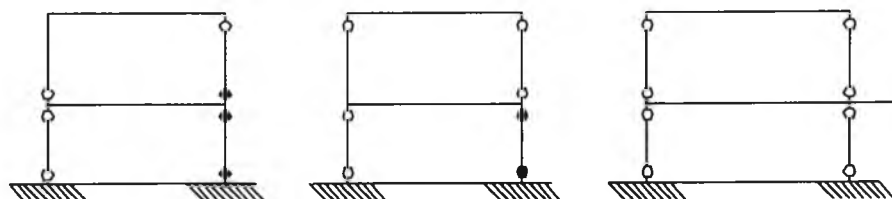


โครง ข1.

โครง ข2.

โครง ข3.

(ก) 0.15 %



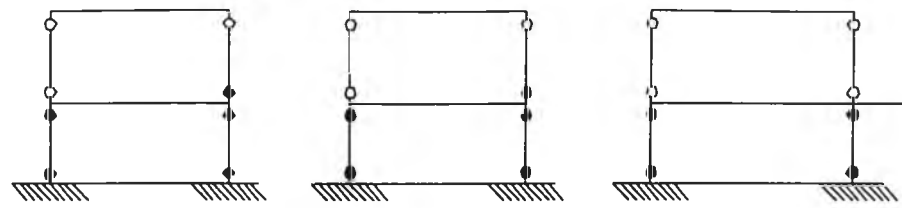
โครง ข1.

โครง ข2.

โครง ข3.

(ข) 0.19 %

รูปที่ 4.9 รูปแบบความเสียหายของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 2 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร

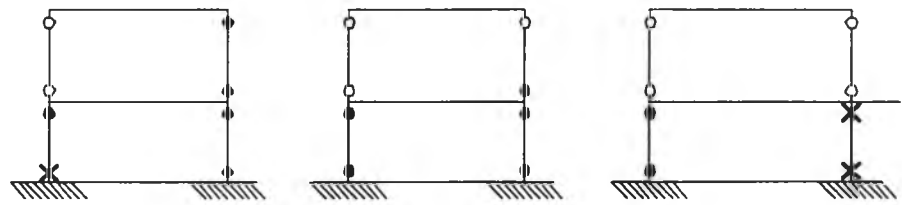


โครง ข1.

โครง ข2.

โครง ข3.

(ค) 0.32 %



โครง ข1.

โครง ข2.

โครง ข3.

(ง) 2.43 %

รูปที่ 4.9(ต่อ) รูปแบบความเสียหายของอาคารเรียน ข. ภายใต้การดันด้วยแรงด้านข้างที่ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 2 ต่างๆ เทียบกับความสูงของอาคาร

4.2 พฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายของอาคารเรียนภายใต้แรงแผ่นดินไหว

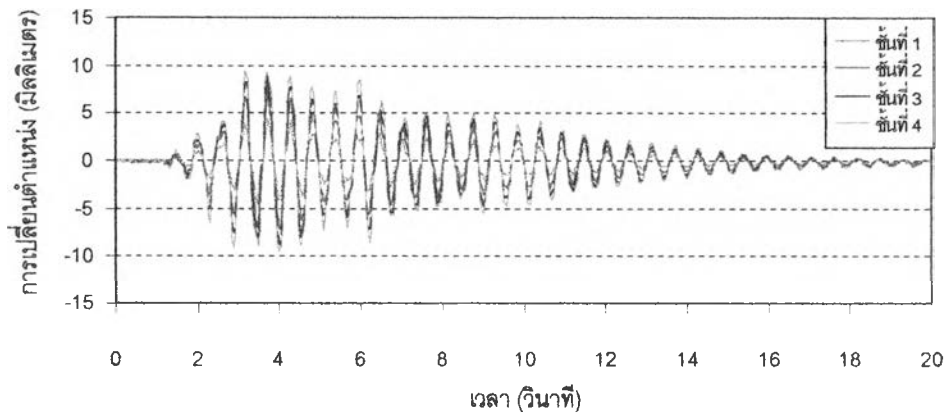
การวิเคราะห์โดยวิธีใช้แรงดันด้านข้างกระทำต่ออาคารซึ่งเป็นวิธีแบบสถิต เป็นวิธีการวิเคราะห์อาคารอย่างง่าย โดยไม่ได้พิจารณาถึงผลของการกระทำซ้ำของแรงกลับไปมา ดังเช่นแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว และมีสมมุติฐานในการวิเคราะห์ การสันตติเป็นการสันในโหมดที่หนึ่งเป็นหลัก เพื่อให้ทราบพฤติกรรมของอาคารที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์

เช่นเดียวกับการวิเคราะห์โดยการใช้แรงดันด้านข้างกับอาคาร การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์นี้จะพิจารณาผลของแรงในแนวตั้ง ซึ่งคิดเฉพาะแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ ร่วมกับแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว โดยพิจารณาถึงผลของ $P-\Delta$

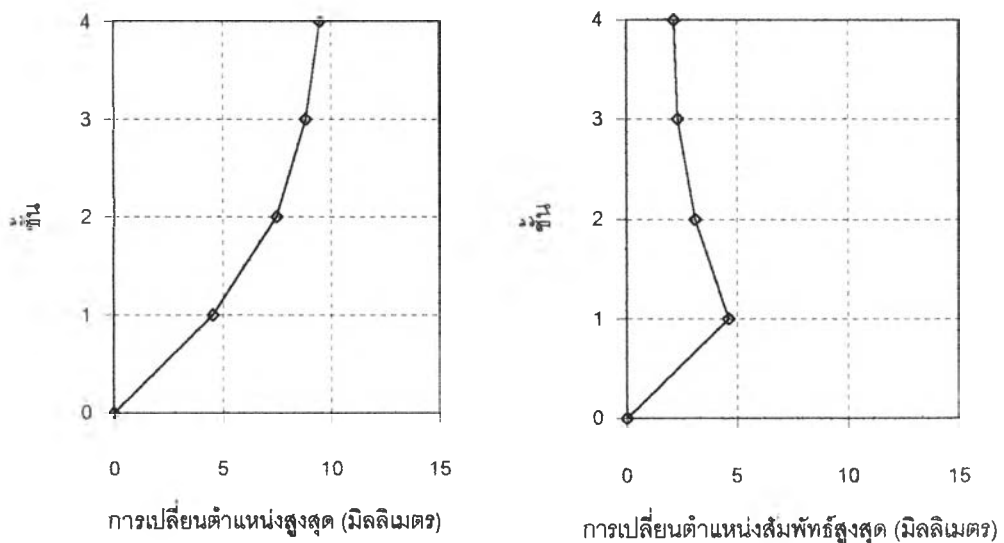
4.2.1 อาคารเรียน ก. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.10 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวขนาดนี้ กรณีของคลื่นแผ่นดินไหว Chiangrai ที่ได้จากสถานีตรวจวัดแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าอาคาร ก. มีความเสียหายเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากลักษณะของคลื่นซึ่งมีความถี่มากกว่าความถี่ของโครงสร้างมากดังที่ได้กล่าวมา

แล้ว รูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคารที่เวลาใดๆ เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้น 4 สูงสุด เท่ากับ 9.5 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.07 % ของความสูงอาคาร และเกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุด 2048 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนเท่ากับ 0.11 การเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นต่างๆ มีลักษณะเฟสตรงกัน แสดงว่า การสั่นของอาคารมีลักษณะของโหมดที่ 1 เป็นหลัก โดยจะเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดในชั้นที่ 1 มีค่าเท่ากับ 4.6 มิลลิเมตร การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ในชั้นที่สูงจะลดลง รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์สูงสุดของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai



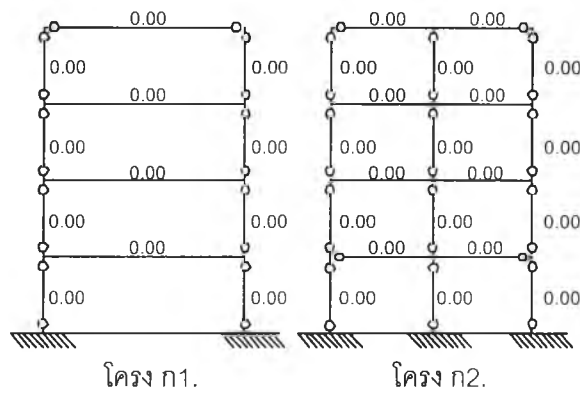
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคารเรียน ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g



รูปที่ 4.11 การตอบสนองของอาคารเรียน ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g

รูปแบบความเสียหายและค่าดัชนีความเสียหายของชั้นส่วนของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 ตัวเลขที่แสดงบริเวณชั้นส่วนคือค่าดัชนีความเสียหายของชั้นส่วนนั้น พบว่าเกิดรอยร้าวชั้นในเสาทุกชั้น ทั้งโครง ก1. และ ก2. และเกิดรอยร้าวใน

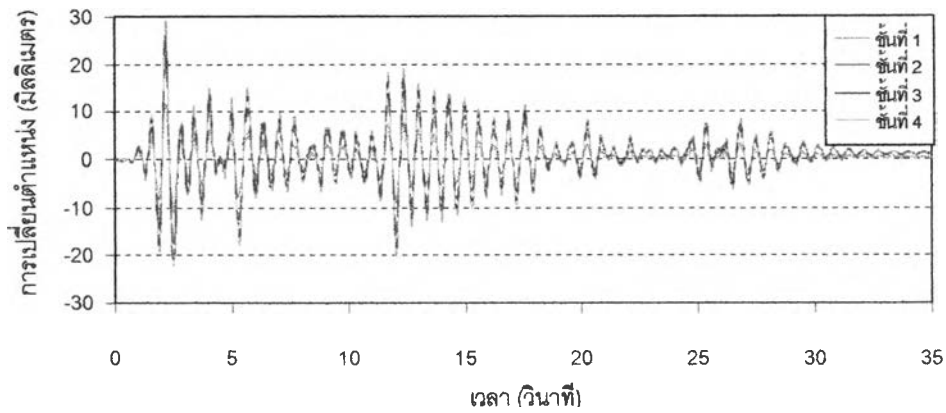
คานชั้นที่ 1 ของโครง ก2. เนื่องจากในชั้นล่างต้องรับโมเมนต์เนื่องจากการเคลื่อนที่ด้านข้างมากกว่าชั้นบน และเกิดรอยร้าวในคานชั้นที่ 4 เนื่องจากมีการเปลี่ยนขนาดของคานและการเสริมเหล็กน้อยกว่าในชั้นที่ 1, 2 และ 3 มาก ประกอบกับไม่มีส่วนของพื้นมาช่วยในการรับแรง ทำให้ถึงแม้ว่าคานในชั้นที่ 4 จะรับแรงน้อยแต่ก็เกิดรอยร้าวมากกว่า แต่ไม่พบการครากในเสาและคาน โดยค่าดัชนีความเสียหายของคานมีค่าเท่ากับ 0.00 และค่าดัชนีความเสียหายของเสายังคงมีค่าเท่ากับ 0.00 เช่นเดียวกับคาน ค่าดัชนีความเสียหายของโครงสร้างที่ได้มีอยู่ในระดับที่ไม่เกิดความเสียหายกับโครงสร้าง



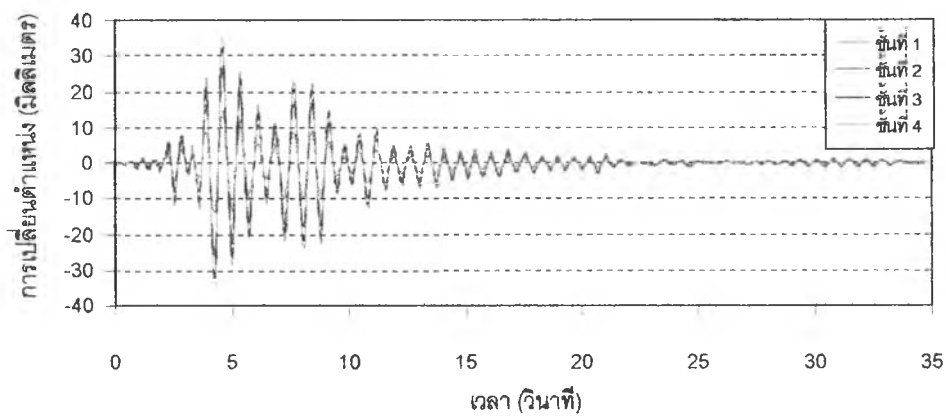
รูปที่ 4.12 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารเรียน ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g

สำหรับกรณีของคลื่นแผ่นดินไหว El Centro, Loma Prieta และ Northridge จะพบความเสียหายในอาคารมากกว่ากรณีคลื่น Chiangrai เนื่องจากความถี่ของคลื่นใกล้เคียงกับความถี่ของอาคารมากขึ้น รูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้แรงแผ่นดินไหวทั้งสามที่เวลาต่างๆ กรณีคลื่น El Centro ได้ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 4 เท่ากับ 29.0 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.21% ของความสูงของอาคาร โดยเกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดเท่ากับ 3594 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดเท่ากับ 0.19 กรณีคลื่น Loma Prieta ได้ค่าเท่ากับ 34.8 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.24% ของความสูงอาคาร และได้ค่าแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดเท่ากับ 3809 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.20 และกรณีคลื่น Northridge ได้ค่าเท่ากับ 31.2 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.22% ของความสูงอาคาร แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดเท่ากับ 3763 กิโลนิวตัน เทียบเท่ากับสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานสูงสุด 0.20 รูปแบบการสั่นของอาคารเป็นการสั่นของโหมดที่ 1 เป็นหลัก สำหรับการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดแสดงได้ดังรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุดในแต่ละชั้นมีความแตกต่างกันมากขึ้น ต่างจากกรณีของคลื่น Chiangrai ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นมากในชั้นที่ 1 และ 2 โดยการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นมีค่า

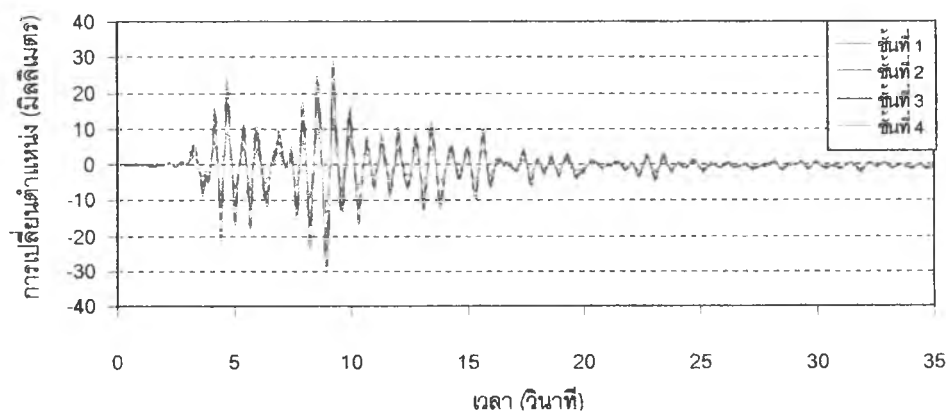
มากที่สุดที่ชั้นล่างๆ โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นสัมพัทธ์สูงสุดกรณีคลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge มีค่าเท่ากับ 11.6, 14.7 และ 13.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ



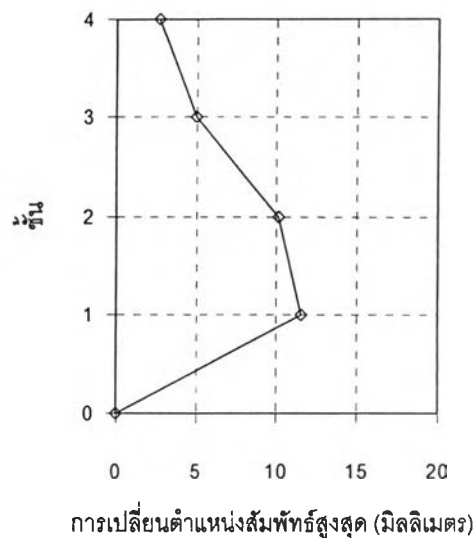
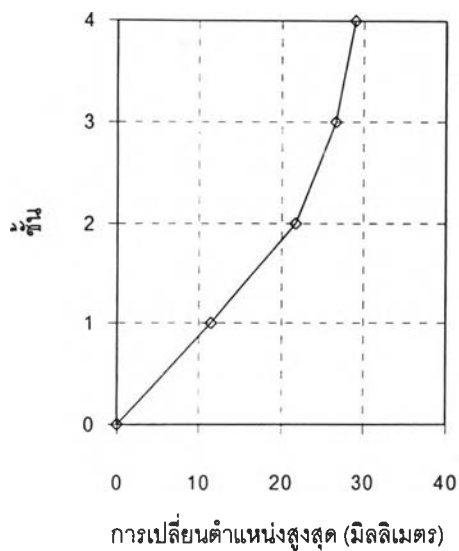
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g



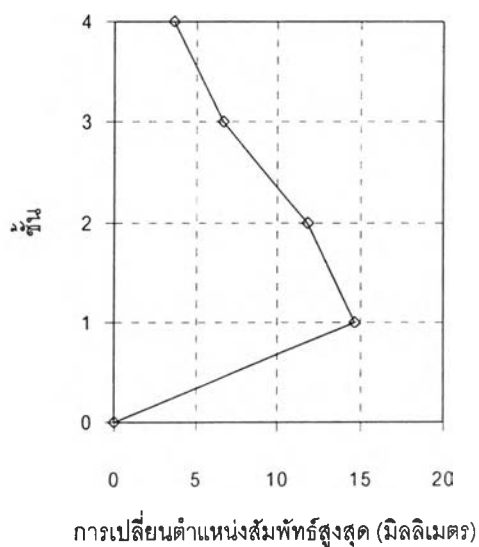
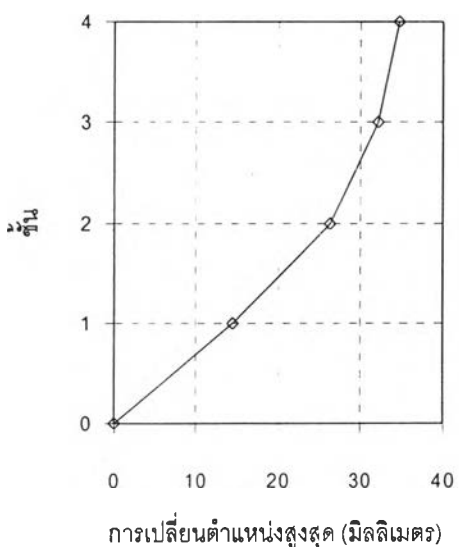
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g



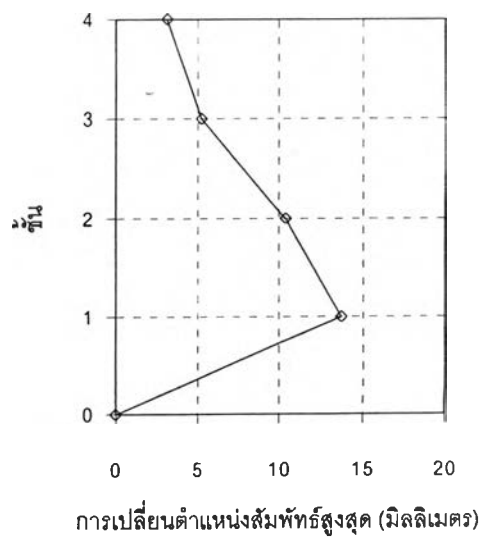
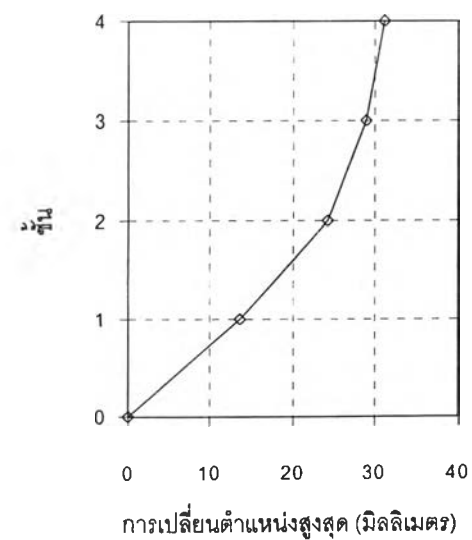
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g



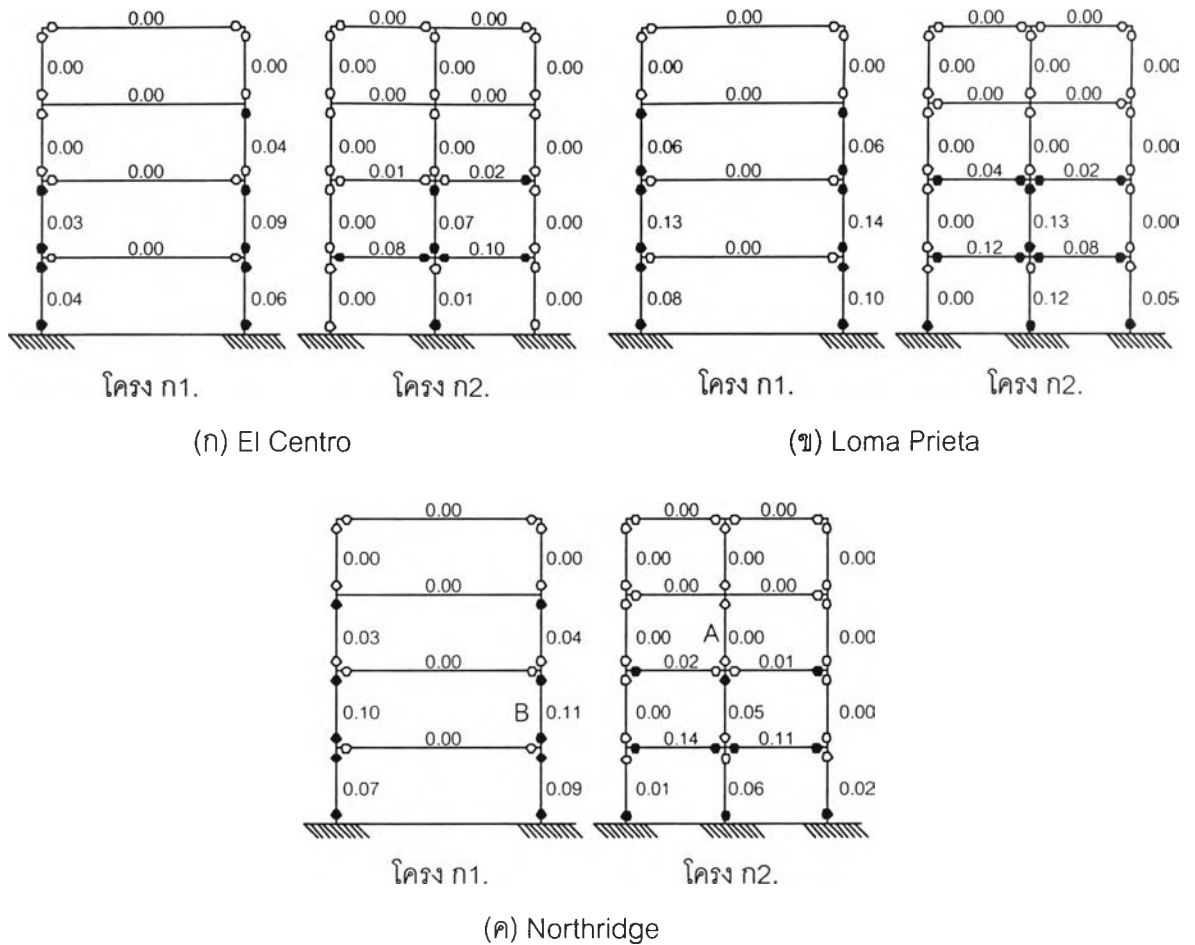
รูปที่ 4.16 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g



รูปที่ 4.17 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g



รูปที่ 4.18 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g

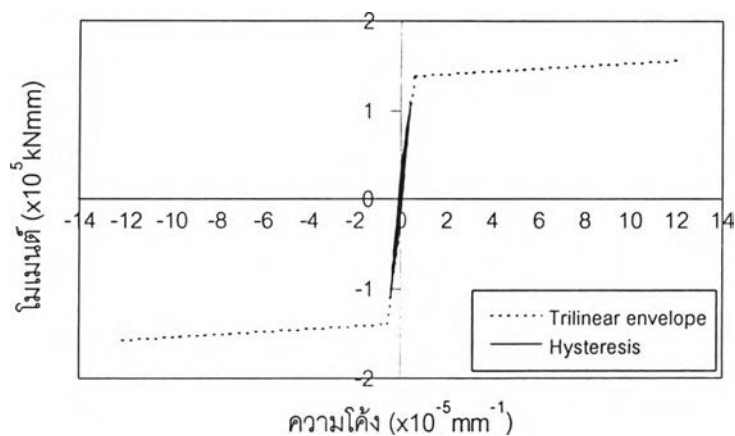


รูปที่ 4.19 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.10g

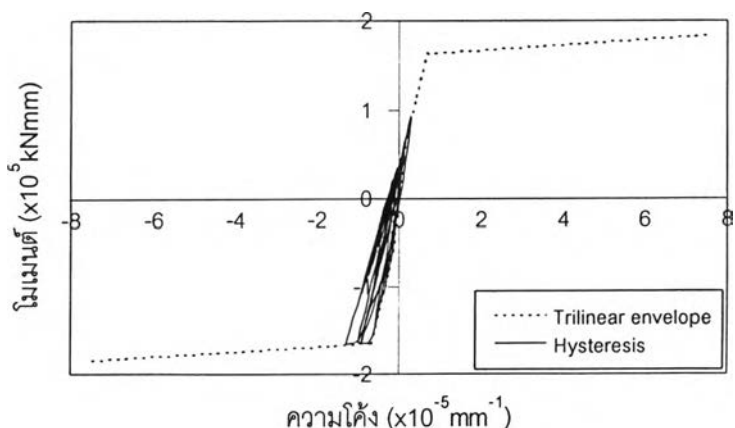
สำหรับรูปแบบความเสียหายของอาคาร ก. สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.19 โดยพบรอยร้าวที่คานในชั้นที่ 1, 2 และ 4 ของโครง ก1. และ ชั้นที่ 2, 3 และ 4 ของโครง ก2. และพบการครากเป็นจำนวนมากในเสาชั้นที่ 1, 2 และ 3 ของโครง ก1. และที่เสภายในที่ชั้นที่ 1 และ 2 ของโครง ก2. ในขณะที่เสาในชั้นที่ 4 เกิดรอยร้าว ไม่พบการการครากในคานของโครง ก1. เนื่องจากคานมีกำลังสูงกว่าเสามาก ในขณะที่เกิดการครากในคานที่จุดต่อระหว่างคานกับเสาในชั้นที่ 1 และ 2 ของโครง ก2. ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเสริมเหล็กของคานน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคานในโครง ก1. โดยเฉพาะเหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ แต่อย่างไรก็ตามการครากของคานทำให้เกิดผลดีคือทำให้ลดการครากของเสาในโครง ก2. การเกิดการครากในอาคารเนื่องจากคลื่นทั้งสามจะเริ่มต้นที่การครากของคานในชั้นที่ 2 ของโครง ก2. จากนั้นจะขยายเข้าไปเสาชั้นที่ 2, 3 และ 1 ของโครง ก1. แล้วขยายไปยังส่วนต่างๆ

เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสียหาย จะพบว่าอาคาร ก. มีค่าดัชนีความเสียหายในกรณีคลื่น Loma Prieta มาก รองลงมาเป็นกรณีคลื่น Northridge และ El Centro ตามลำดับ

ค่าดัชนีความเสียหายของคานในโครง ก2. มากกว่าคานในโครง ก1. เนื่องจากมีปริมาณเหล็กเสริมน้อยแต่เป็นตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์สูงดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ โดยคานมีค่าดัชนีความเสียหายน้อยในชั้นบน และจะมากขึ้นในชั้นล่าง สำหรับค่าดัชนีความเสียหายในเสา จะมีค่ามากในชั้นที่ 1 และ 2 โดยเสาในชั้นที่ 2 มีค่ามากกว่าชั้นที่ 1 เนื่องจากกำลังรับโมเมนต์ของเสาดังกล่าวทำให้เกิดการครากก่อนเสาในชั้นที่ 1 ถึงแม้ว่าเสาในชั้นที่ 1 รับโมเมนต์มากกว่าเสาในชั้นที่ 2 เสาในโครง ก1. มีค่าความเสียหายมากกว่าโครง ก2. เนื่องจากผลของการที่คานไม่เกิดการครากทำให้เกิดแรงในเสามากกว่า ความเสียหายจึงเกิดขึ้นในเสามาก นอกจากนี้จะพบว่าค่าความเสียหายของเสาภายในของโครง ก2. มีค่ามากกว่าค่าความเสียหายของเสานอกในโครงเดียวกัน เนื่องมาจากเสาภายในต้องรับแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ด้านข้างมากกว่าเสานอกและผลของ $P-\Delta$ ค่าดัชนีความเสียหายอยู่ในระดับที่เกิดความเสียหายเล็กน้อยถึงปานกลาง สามารถซ่อมแซมและใช้งานได้ รูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงตัวอย่างโมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นในกรณีของคลื่น Northridge โดยรูปที่ 4.20 แสดงค่าโมเมนต์และความโค้งที่ปลายบนของเสาภายในของชั้นที่ 3 ในโครง ก2. ซึ่งเกิดรอยร้าวขึ้น ส่วนรูปที่ 4.21 แสดงค่าโมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นที่ปลายบนของเสาด้านขวาในชั้นที่ 2 ของโครง ก1. ซึ่งเกิดการครากที่ไม่รุนแรงขึ้นในเสา



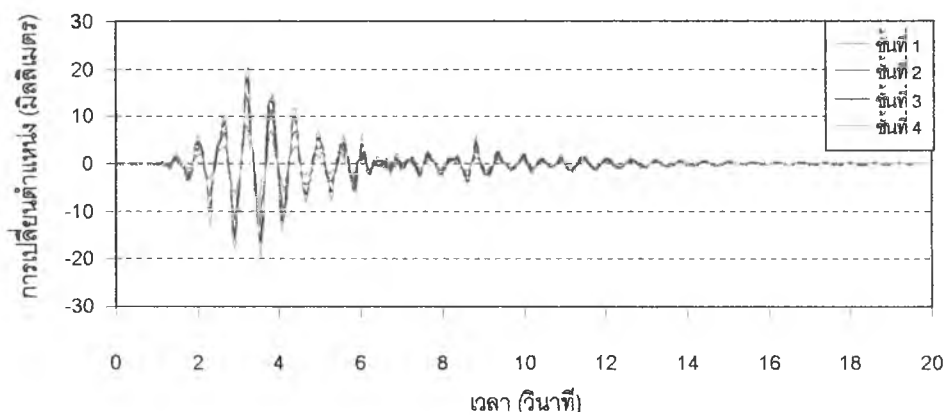
รูปที่ 4.20 โมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นที่ปลายบนของเสา A ในรูปที่ 4.19ค



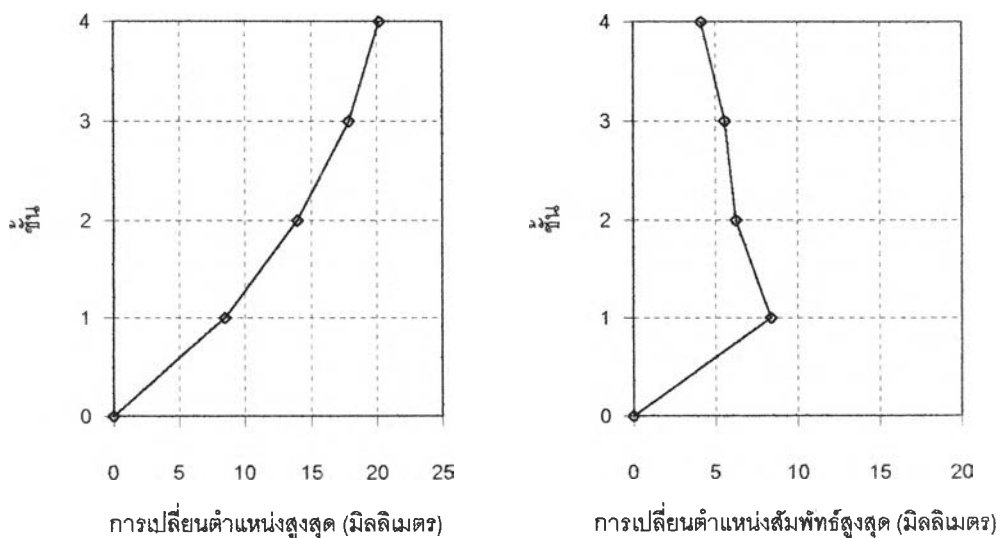
รูปที่ 4.21 โมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นที่ปลายบนของเสา B ในรูปที่ 4.19ค

4.2.2 อาคารเรียน ก. ภายใต้อิทธิพลของไหวพริบขนาด 0.20 เท่าของความถี่เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ภายใต้อิทธิพลของไหวพริบขนาด 0.20g การตอบสนองของอาคารจะเพิ่มมากขึ้น กรณีของคลื่น Chiangrai แสดงได้ดังรูปที่ 4.22 การสั่นของอาคารมีลักษณะคล้ายกับการสั่นภายใต้อิทธิพลของไหวพริบ 0.10g ความถี่ของการสั่นใกล้เคียงกัน เนื่องจากความเสียหายของอาคารยังไม่มาก ขนาดของการสั่นจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 4 เท่ากับ 20.3 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.14% ของความสูงอาคาร และเกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดเท่ากับ 3133 กิโลนิวตัน คิดเป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.17 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นสูงสุดเกิดขึ้นในชั้นที่ 1 เท่ากับ 8.4 มิลลิเมตร การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์สูงสุดของชั้นต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.23

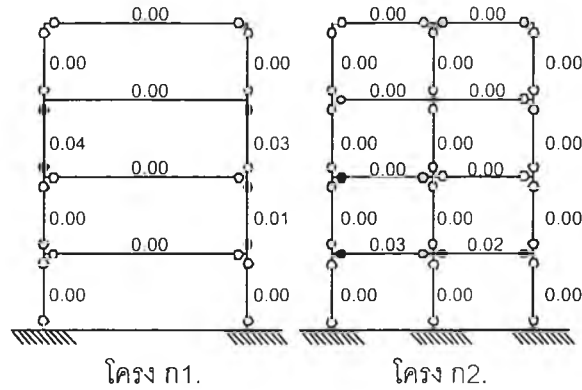


รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้อิทธิพลของคลื่น Chiangrai 0.20g



รูปที่ 4.23 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้อิทธิพลของคลื่น Chiangrai 0.20g

ความเสียหายของอาคารสำหรับกรณีของคลื่นแผ่นดิน Chiangrai ขนาด 0.20g ความเสียหายของอาคาร ก. เพิ่มขึ้น โดยเริ่มพบการครากของเสาในชั้นที่ 2 และ 3 ของโครง ก1. และพบการครากของคานในชั้นที่ 1 และ 2 ในโครง ก2. โดยมีร้าวรอยกระจายอยู่ทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 4.24

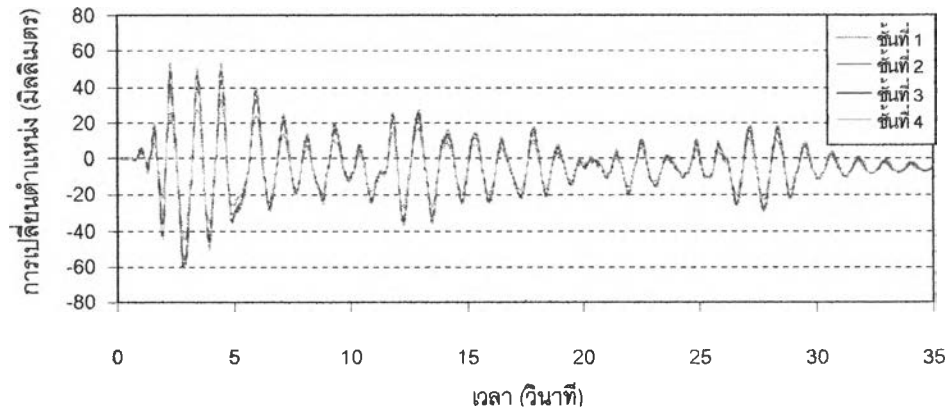


รูปที่ 4.24 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g

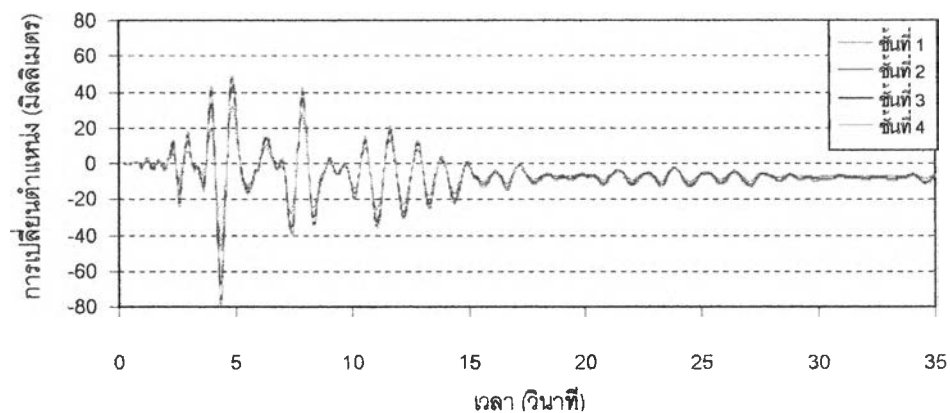
เมื่อคำนวณค่าดัชนีความเสียหายของอาคารพบว่า กรณีของคลื่น Chiangrai การครากที่เกิดขึ้นในเสาและคานที่พบเป็นการเริ่มครากเท่านั้น โดยค่าความเสียหายในเสาชั้นที่ 3 ของโครง ก1. มากกว่าเสาในชั้นที่ 2 เล็กน้อย เนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นที่ 2 และ 3 มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่กำลังรับโมเมนต์ของเสาในชั้นที่ 3 ต่ำกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการลดปริมาณเหล็กเสริมตามยาว ค่าดัชนีความเสียหายดังกล่าวจัดอยู่ในระดับที่เสียหายเพียงเล็กน้อย สามารถซ่อมแซมได้

รูปที่ 4.25, 4.26 และ 4.27 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นต่างๆ ในกรณีของคลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g ความถี่ของการสั่นของอาคารจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการสั่นภายใต้แรงแผ่นดินไหว 0.10g เนื่องจากความเสียหายของอาคารที่เพิ่มขึ้นมาก ทำให้สติเฟสของอาคารลดลงมาก การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดของชั้น 4 มีค่าเท่ากับ 61.6, 79.8 และ 62.4 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.44, 0.57 และ 0.44% ของความสูงอาคาร สำหรับคลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ตามลำดับ และเกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุด เท่ากับ 4062, 4066 และ 3907 กิโลนิวตัน คิดเป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานประมาณ 0.21 ซึ่งมากกว่ากรณีคลื่นที่มีความเร่งขนาด 0.10g เพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าอาคารมีพฤติกรรมในช่วงไม่ยืดหยุ่น การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ของชั้นเกิดขึ้นอย่างมากในชั้นที่ 1 เนื่องจากเกิดการครากที่เสาทั้งส่วนบนและส่วนล่างในชั้นที่ 1 ทั้งชั้น โดยมีค่าเท่ากับ 45.6, 48.8 และ 42.2 มิลลิเมตร คิดเป็นอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างชั้นเท่ากับ 1.30, 1.39

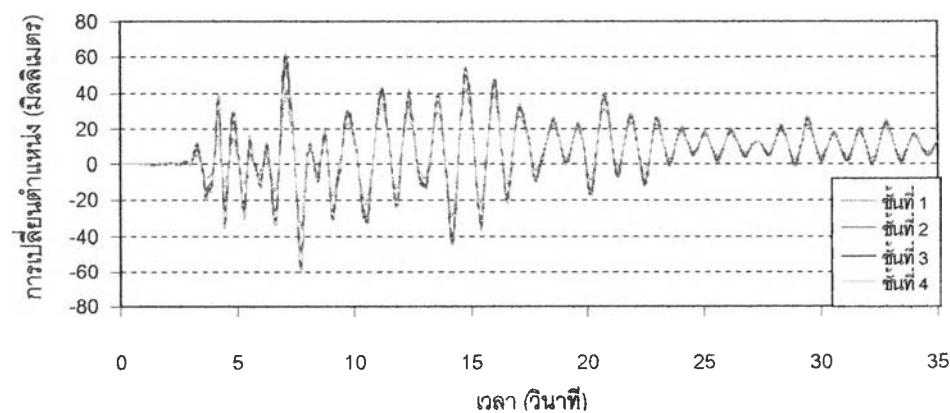
และ 1.21 % ของความสูงของชั้น นอกจากนี้พบว่า เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งแบบถาวรในชั้นที่ 1 ประมาณ 5, 10 และ 10 มิลลิเมตร สำหรับกรณีคลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ตามลำดับ



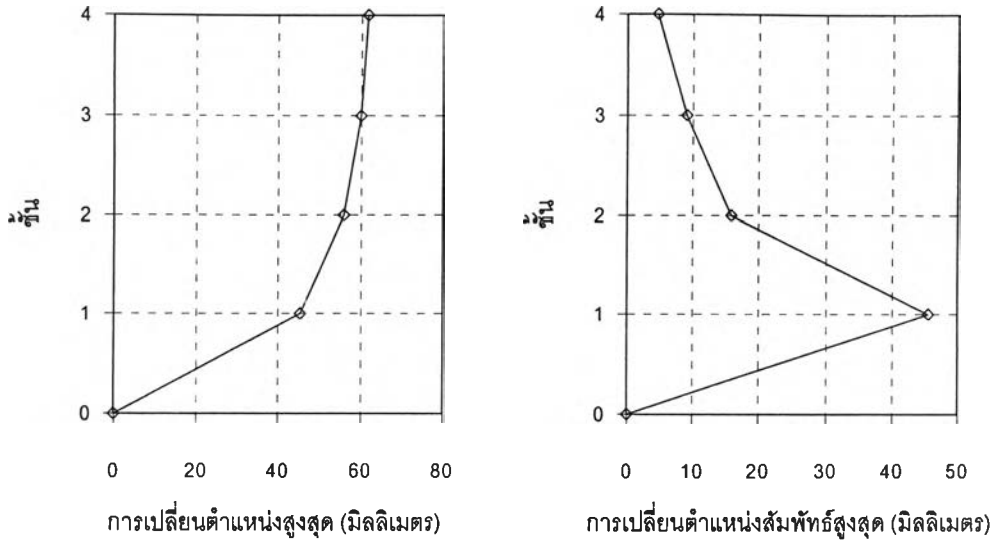
รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้อิทธิพลของคลื่น El Centro 0.20g



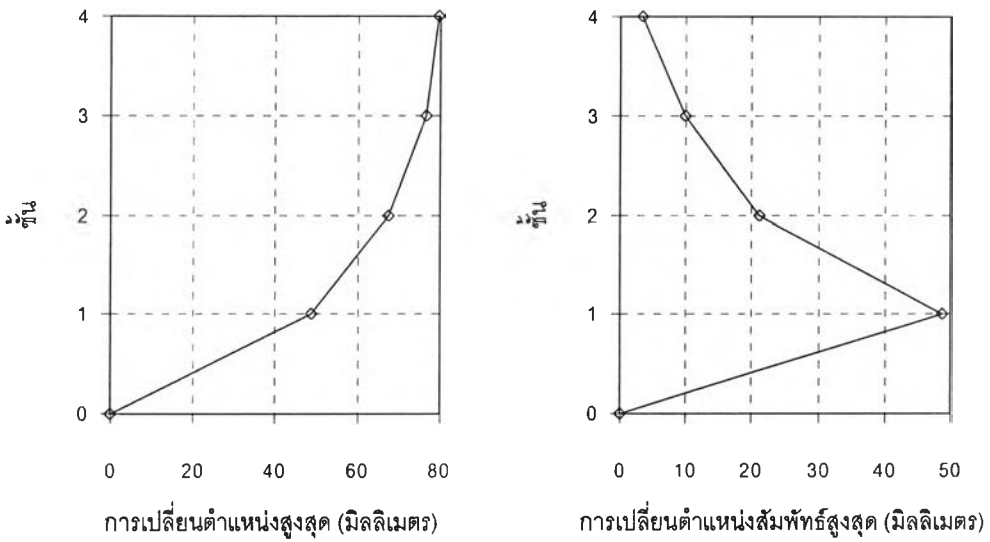
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้อิทธิพลของคลื่น Loma Prieta 0.20g



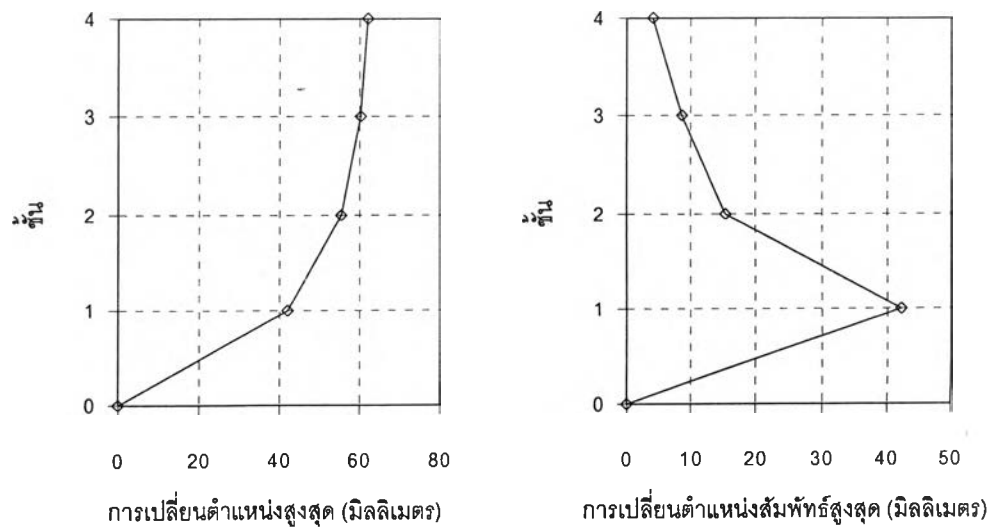
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้อิทธิพลของคลื่น Northridge 0.20g



รูปที่ 4.28 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g



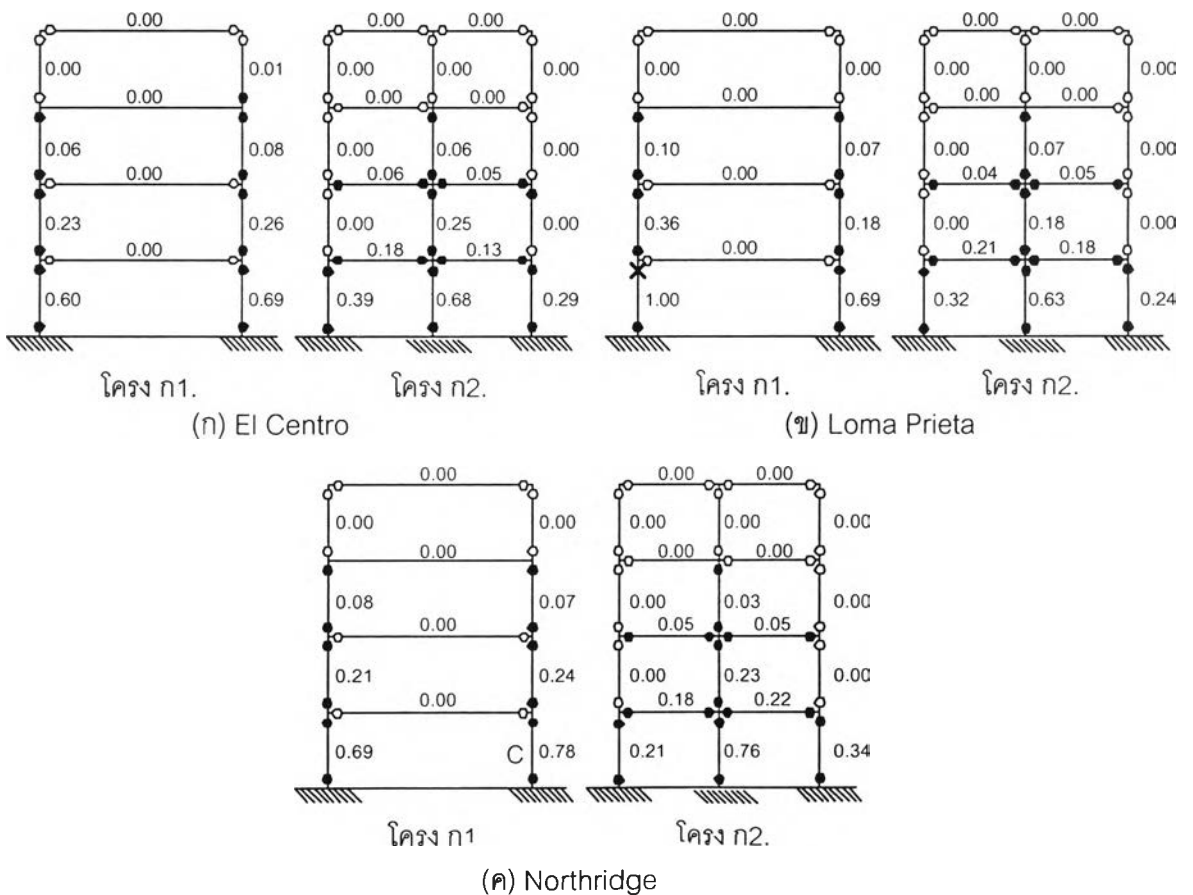
รูปที่ 4.29 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g



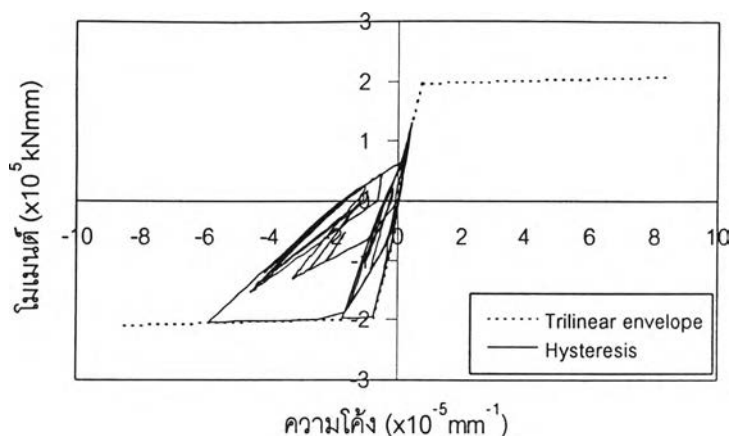
รูปที่ 4.30 การตอบสนองของอาคาร ก. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g

สำหรับความเสียหายของทั้งกรณีคลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge พบว่าเกิดการร้าวที่ส่วนบนและส่วนล่างของเสาชั้นที่ 1 ตลอดทั้งชั้น และเกิดการร้าวของเสาทั้งส่วนบนและล่างในชั้นที่ 2 และ 3 ของโครง ก1. โดยพบเพียงรอยร้าวในคาน ส่วนในโครง ก2. จะเกิดการร้าวในคานชั้นที่ 1 และ 2 และเกิดการร้าวที่เสภายในที่ชั้น 2 และ 3 ในขณะที่พบรอยร้าวกระจายในเสาและคานชั้นที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.31

เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสียหาย พบว่ากรณีของคลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ค่าดัชนีความเสียหายทั้งในเสาและคานจะมีค่ามากที่สุดที่ชั้นที่ 1 ค่าดัชนีความเสียหายของคานน้อยกว่า 0.40 จัดอยู่ในระดับเสียหายปานกลาง สามารถซ่อมแซมได้ สำหรับค่าดัชนีความเสียหายในเสาชั้นที่ 1 ส่วนใหญ่อยู่ในระดับเสียหายรุนแรงไม่สามารถซ่อมแซมได้ รูปที่ 4.32 แสดงตัวอย่างของโมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นที่ส่วนบนของเสาด้านขวาของชั้นที่ 1 ในโครง ก1. ในกรณีของคลื่น Northridge ซึ่งเกิดการร้าวที่รุนแรง และพบว่าในกรณีของคลื่น Loma Prieta เสาข้างหนึ่งของโครง ก1. ซึ่งเป็นโครงส่วนใหญ่ของอาคาร มีค่าดัชนีความเสียหายเกิน 0.77 อย่างมาก ถือว่าเกิดการวิบัติของเสาชั้น การวิบัติของเสาดังกล่าวอาจนำไปสู่การวิบัติของอาคารทั้งหลัง



รูปที่ 4.31 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ก. ภายใต้คลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g

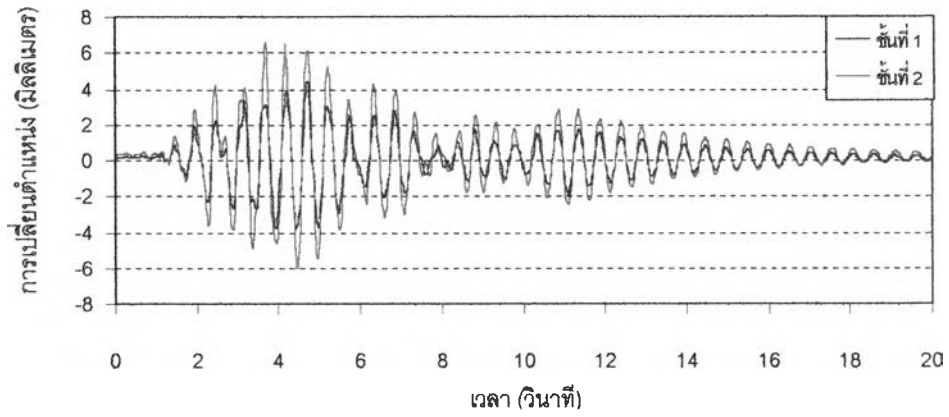


รูปที่ 4.32 โมเมนต์และความโค้งที่เกิดขึ้นที่ปลายบนของเสา C ในรูปที่ 4.31ค

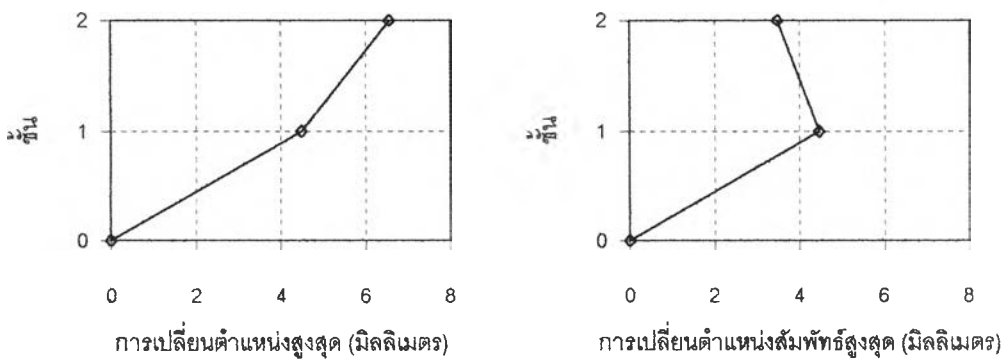
จากการวิเคราะห์อาคารเรียน ก. ทั้งวิเคราะห์แบบสถิต และแบบพลศาสตร์ พบว่าความสามารถในการรับแรงด้านข้างสูงสุดของอาคารที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี มีค่าใกล้เคียงกัน ความเสียหายและลำดับการเกิดความเสียหายแตกต่างกันในระดับหนึ่ง เนื่องจากการวิเคราะห์แบบสถิตจะเกิดความเสียหายในทิศทางเดียว ในขณะที่การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์จะเกิดขึ้น 2 ทิศทางไปพร้อมๆ กัน การกระจายของแรงในอาคารจึงแตกต่างกัน ประกอบกับผลของการรับแรงแบบกระทำซ้ำและผลของการสั่นในโหมดอื่นของอาคาร อาคาร ก. สามารถรับแรงแผ่นดินไหวขนาด 0.10g ได้ โดยเกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อย สามารถซ่อมแซมได้ ถึงแม้ว่าจะเกิดการครากในเสาในชั้นที่ 1, 2 และ 3 ในโครง ก1. เป็นจำนวนมาก แต่เป็นการครากที่ไม่รุนแรง เสายังคงกำลังและสติเฟ้นส่วนใหญ่ไว้ได้ และในกรณีแผ่นดินไหวขนาด 0.20g อาคาร ก. เกิดความเสียหายอย่างมากในเสาชั้นที่ 1 และ 2 โดยเฉพาะเสาในชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายในระดับที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ และเสียบางต้นเกิดการวิบัติ สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบสถิต ซึ่งการวิบัติของอาคารภายใต้แรงกระทำด้านข้างเนื่องมาจากการวิบัติของเสาในชั้นที่ 1

4.2.3 อาคารเรียน ข. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.10 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

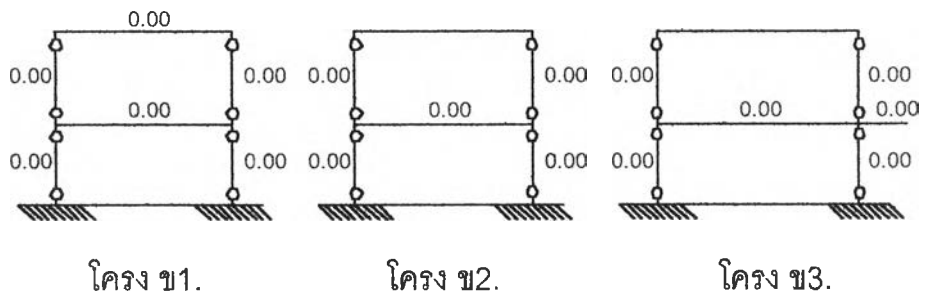
ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Chiangrai พบว่าอาคาร ข. มีการเปลี่ยนตำแหน่งของชั้นต่างๆ ดังรูปที่ 4.33 การสั่นของอาคารมีลักษณะของโหมดที่ 1 เป็นหลัก เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นที่ 2 สูงสุดเท่ากับ 6.6 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.10% ของความสูงอาคาร และเกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดเท่ากับ 413 กิโลนิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 0.08 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์สูงสุดเกิดขึ้นในชั้นที่ 1 เท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร รูปที่ 4.34 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์สูงสุดของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai



รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g



รูปที่ 4.34 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g

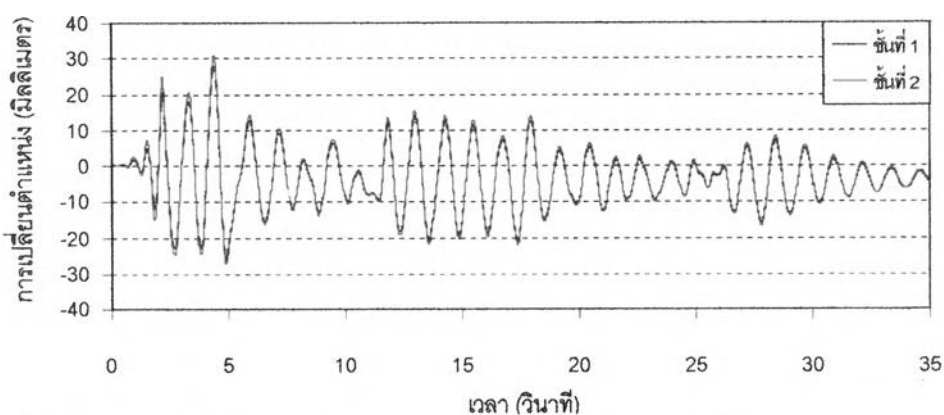


รูปที่ 4.35 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.10g

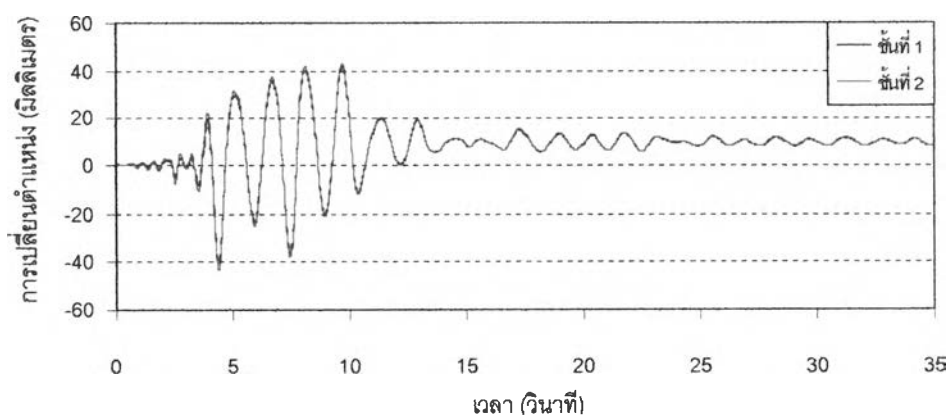
ความเสียหายของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai แสดงได้ดังรูปที่ 4.35 พบว่าเกิดรอยร้าวขึ้นในทุกๆ เสา แต่ไม่พบรอยร้าวเกิดขึ้นในคาน ค่าดัชนีความเสียหายของเสาและคานมีค่าเท่ากับ 0.00 แสดงว่าไม่เกิดความเสียหายขึ้นกับโครงสร้างอาคาร

สำหรับกรณีคลื่นแผ่นดินไหว El Centro, Loma Prieta และ Northridge การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.36, 4.37 และ 4.38 ความถี่ของการสั่นของอาคารต่ำกว่ากรณีของคลื่น Chiangrai มาก รูปที่ 4.39, 4.40 และ 4.41 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งสูง

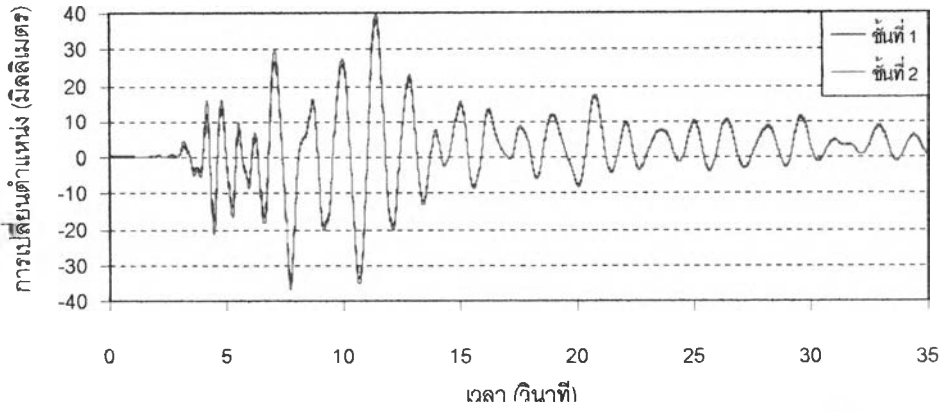
สุดและการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์สูงสุดของอาคารภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวทั้งสาม โดยมีค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดของชั้นที่ 2 เท่ากับ 30.8, 43.2 และ 39.9 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.47, 0.66 และ 0.60% ของความสูงอาคารตามลำดับ และเกิดแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดเท่ากับ 691, 696 และ 739 กิโลนิวตัน คิดเป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนเท่ากับ 0.13, 0.13 และ 0.14 ตามลำดับ สำหรับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นเกิดขึ้นมากในชั้นที่ 1 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเกิดการครากในเสาชั้นที่ 1 ทั้งชั้น ทำให้สติฟเนสของชั้นลดลงอย่างมาก โดยมีค่าเท่ากับ 27.9, 41.7 และ 38.1 มิลลิเมตรตามลำดับ พบว่าเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งแบบถาวรในชั้นที่ 1 ประมาณ 3, 10 และ 3 มิลลิเมตร



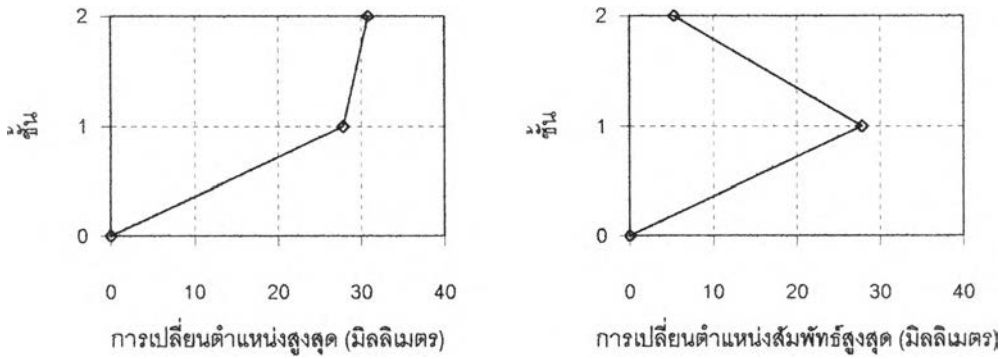
รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g



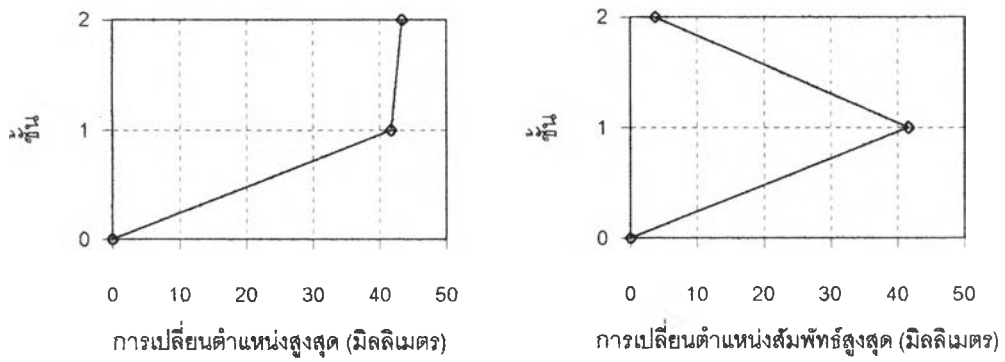
รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g



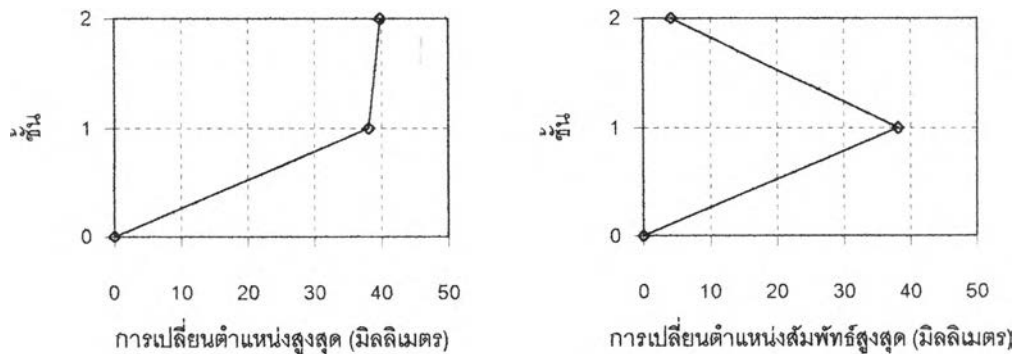
รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g



รูปที่ 4.39 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro 0.10g

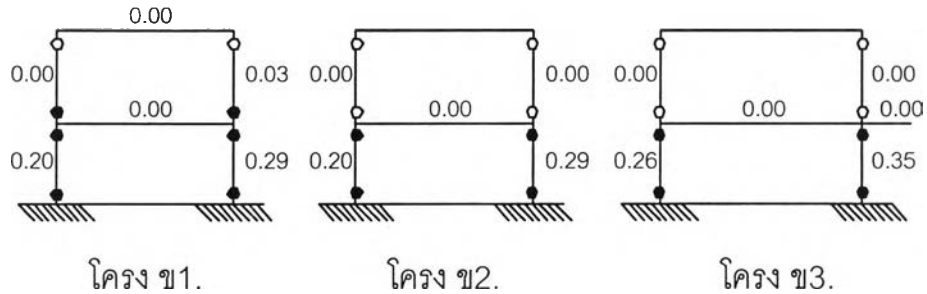


รูปที่ 4.40 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.10g

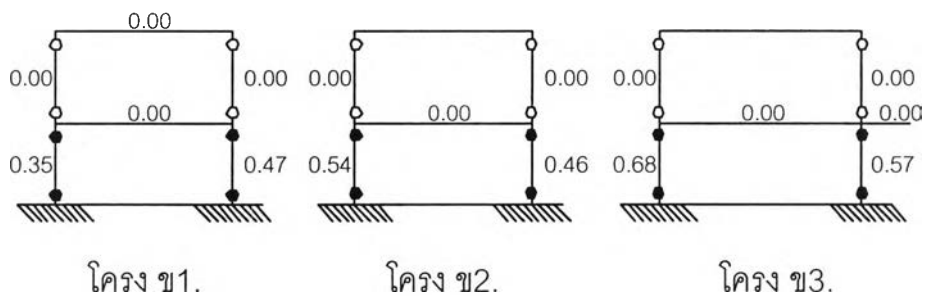


รูปที่ 4.41 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Northridge 0.10g

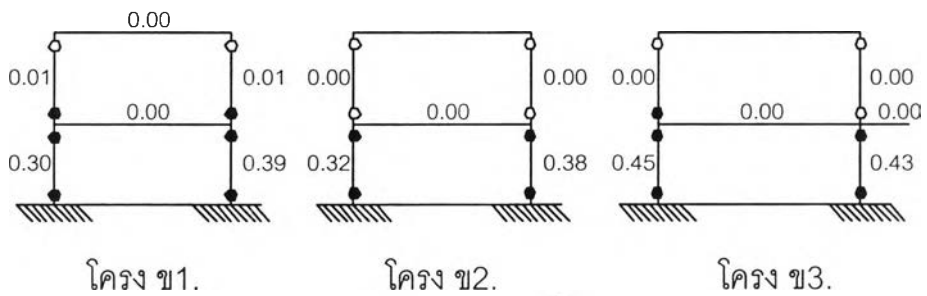
รูปแบบความเสียหายของอาคาร ข. แสดงดังรูปที่ 4.42 โดยพบว่าภายใต้คลื่นแผ่นดินไหวทั้งสาม เกิดการร้าวในเสาชั้นที่ 1 ทั้งชั้น ส่วนเสาในชั้นที่ 2 จะมีรอยร้าวร่วมกับการเกิดการร้าว ส่วนความเสียหายในคานพบว่าเกิดรอยร้าวเฉพาะที่บริเวณกลางช่วงคานในชั้นที่ 1 ไม่พบว่าการร้าวในคาน ซึ่งเป็นผลมากจากกำลังรับโมเมนต์ของคานที่สูงกว่าเสามาก การร้าวเริ่มขึ้นที่เสาในชั้นที่ 1 โดยเกิดที่เสาในโครง ข1. หรือ ข2. จากนั้นจึงขยายไปส่วนเสาในชั้นที่ 2



(ก) El Centro



(ข) Loma Prieta



(ค) Northridge

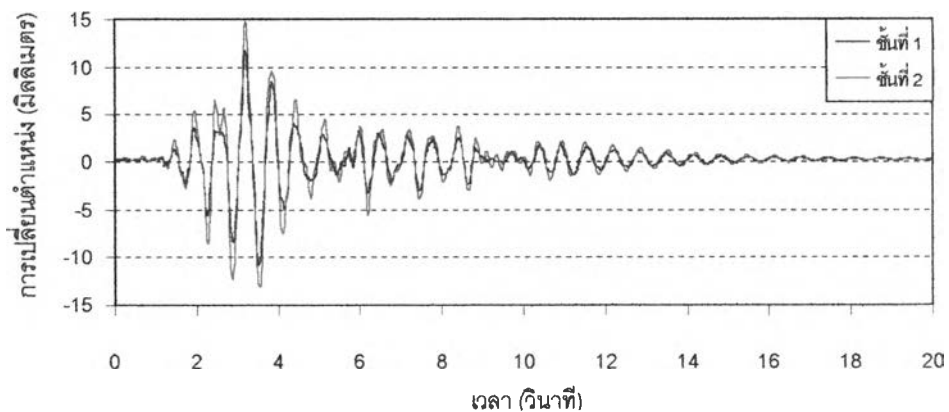
รูปที่ 4.42 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.10g

เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความเสียหายพบว่าอาคารมีความเสียหายมากที่สุดในกรณีของคลื่น Loma Prieta รองลงมาคือคลื่น Northridge และ El Centro ตามลำดับ โดยค่าดัชนีความเสียหายของคานเท่ากับ 0.00 เนื่องจากยังไม่พบการร้าวขึ้นในคาน สำหรับค่าดัชนีความเสียหายในเสา เสาชั้นที่ 2 มีดัชนีความเสียหายน้อยมาก ส่วนค่าดัชนีความเสียหายของเสาชั้นที่

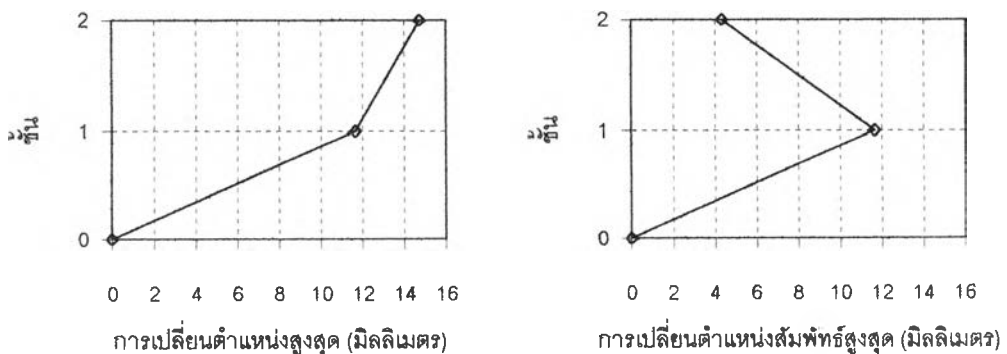
1 พบว่าเสาของโครง ข3. มีค่าดัชนีความเสียหายมากกว่าเสาอื่น เนื่องจากระยะระหว่างโครงที่กว้าง และความยาวช่วงคานที่มากกว่าทำให้ต้องรับโมเมนต์จากแรงในแนวตั้งสูง โดยเฉพาะเสาด้านคานยื่นต้องรับแรงในแนวแกนที่มากกว่าเสาอื่น ทำให้ความเหนียวของเสาดำ ค่าดัชนีความเสียหายของเสาในชั้นที่ 1 กรณีคลื่น El Centro อยู่ในระดับเสียหายปานกลาง สามารถซ่อมแซมได้ กรณีของคลื่น Loma Prieta อยู่ในระดับรุนแรง ไม่สามารถซ่อมแซมได้ ขณะที่กรณีคลื่น Northridge อยู่ช่วงเริ่มต้นของการเกิดความเสียหายรุนแรง

4.2.4 อาคารเรียน ข. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.20 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ภายใต้คลื่นแผ่นดินไหว Chiangrai ขนาด 0.20g ขนาดของการสั่นเพิ่มขึ้น ความถี่ของการสั่นลดลง โดยมีการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดที่ชั้น 2 เท่ากับ 14.7 มิลลิเมตร คิดเป็น 0.22% ของความสูงอาคาร แรงเฉือนที่ฐานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 614 กิโลนิวตัน เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 0.11 การเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์สูงสุดเกิดในชั้นที่ 1 มีค่าเท่ากับ 11.7 มิลลิเมตร

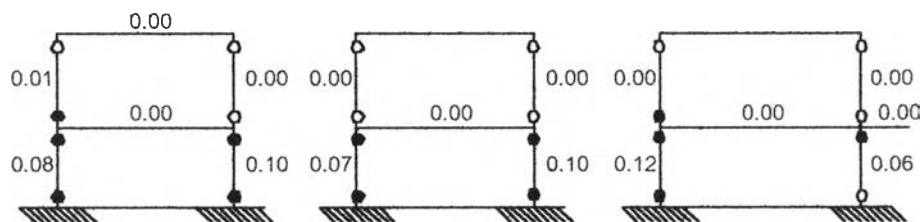


รูปที่ 4.43 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g



รูปที่ 4.44 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Chiangrai 0.20g

ความเสียหายของอาคารแสดงได้ดังรูปที่ 4.45 พบว่าอาคารมีความเสียหายเพิ่มขึ้นมาก โดยเกิดการครากทั้งส่วนบนและล่างในเสาส่วนใหญ่ของชั้นที่ 1 ขณะที่เกิดรอยร้าวเป็นส่วนใหญ่สลับกับการเกิดการครากในเสาชั้นที่ 2 โดยเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความเสียหาย พบว่าค่าดัชนีความเสียหายของเสาชั้นที่ 1 ยังคงอยู่ในระดับต่ำแสดงว่าการครากที่เกิดขึ้นยังไม่รุนแรง มีค่าอยู่ในระดับที่เสียหายเพียงเล็กน้อย



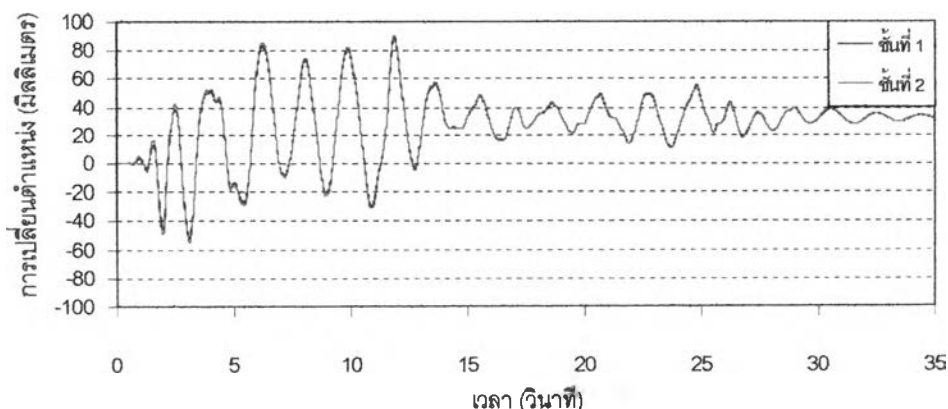
โครง ข1.

โครง ข2.

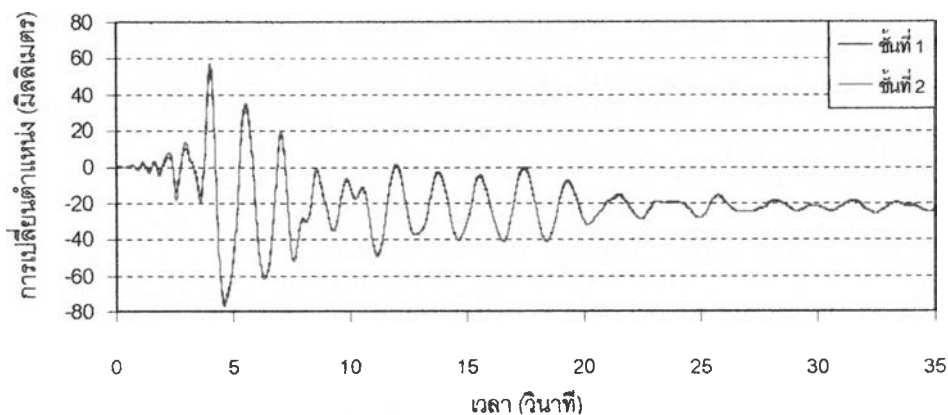
โครง ข3.

รูปที่ 4.45 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้อาคาร Chiangrai 0.20g

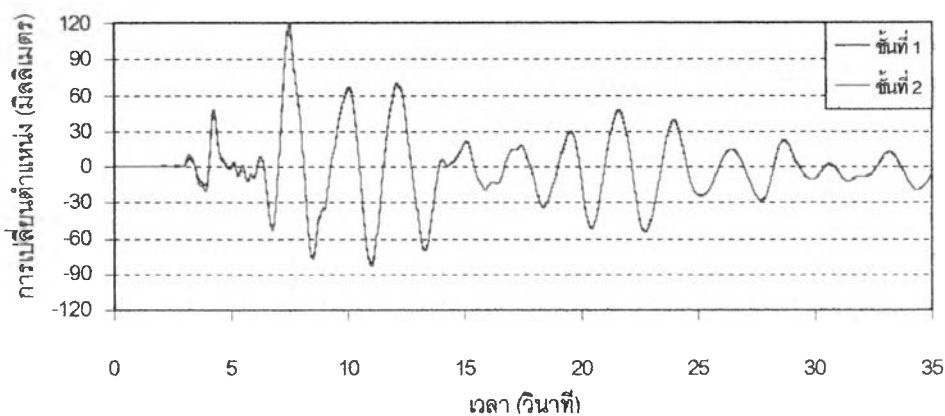
รูปที่ 4.46, 4.47 และ 4.48 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของอาคารในกรณีของคลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดและการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดสัมพัทธ์ของอาคารแสดงดังรูปที่ 4.49, 4.50 และ 4.51 ความถี่ของการสั่นลดลงมากเนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นมากโดยเฉพาะในชั้นที่ 1 การเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุดของชั้นที่ 2 เท่ากับ 90.1, 76.6 และ 120.8 มิลลิเมตร คิดเป็น 1.37, 1.16 และ 1.83 % ของความสูงอาคาร และเกิดแรงเฉือนที่ฐานเท่ากับ 795, 805 และ 749 กิโลนิวตัน คิดเป็น สัมประสิทธิ์แรงเฉือนที่ฐาน 0.15, 0.15 และ 0.14 สำหรับคลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ตามลำดับ เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์เกิดขึ้นมากในชั้นที่ 1 โดยมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 - 3 เท่า ในขณะที่เกิดแรงเฉือนที่ฐานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการครากในเสาชั้นที่ 1 ทั้งชั้น ทำให้แรงที่เข้าสู่ฐานไม่เพิ่มขึ้น เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งแบบถาวรในชั้นที่ 1 ในกรณีของคลื่น El Centro และ Loma Prieta ประมาณ 30 และ 20 มิลลิเมตร



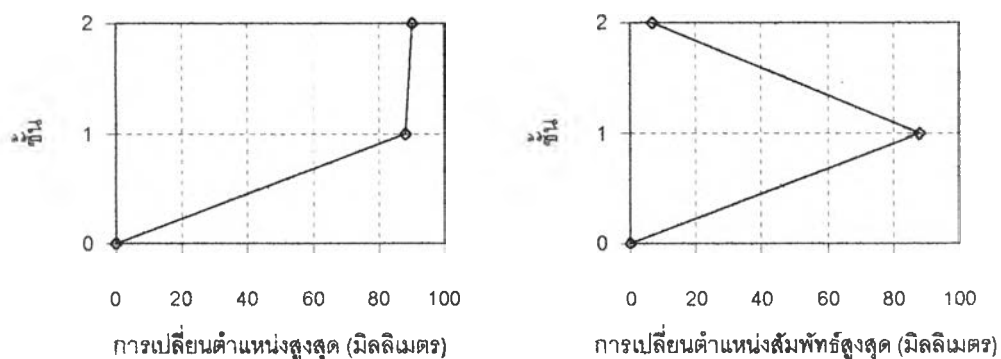
รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้อาคาร El Centro 0.20g



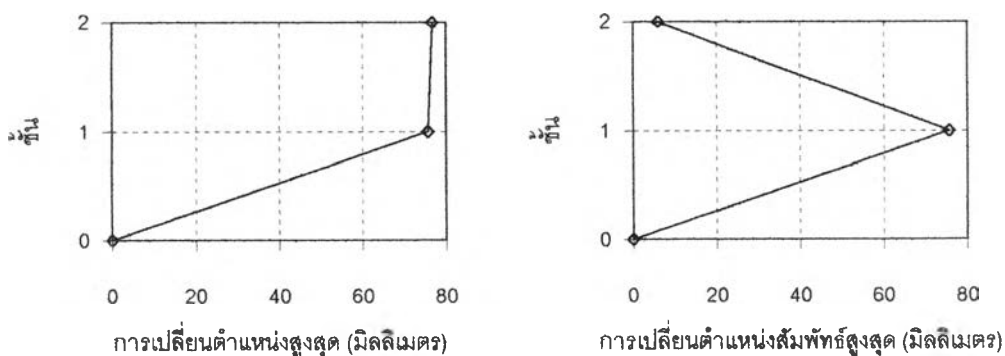
รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g



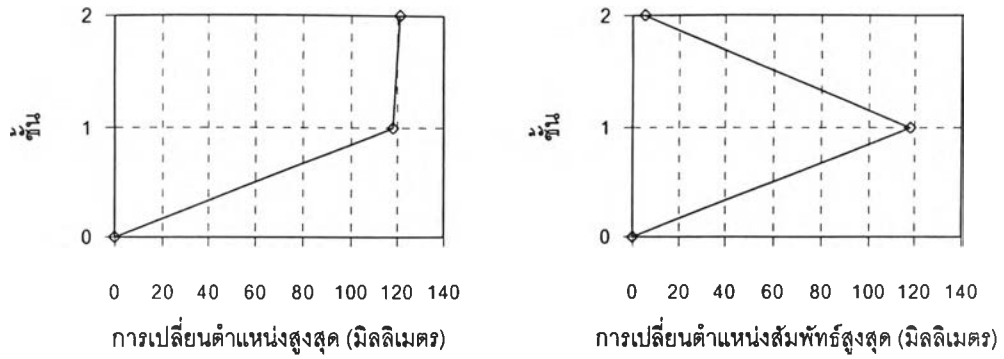
รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g



รูปที่ 4.49 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro 0.20g

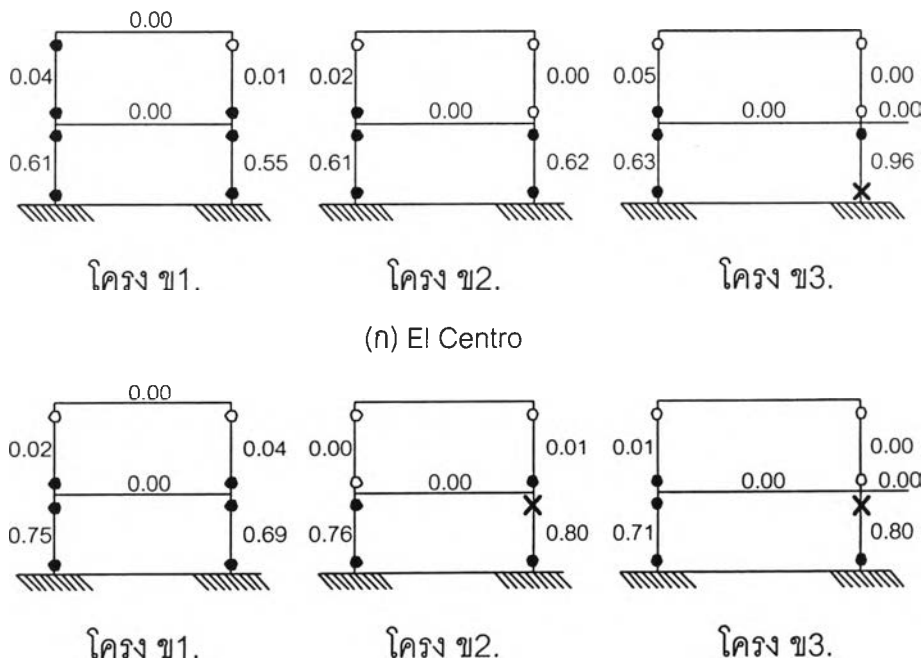


รูปที่ 4.50 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Loma Prieta 0.20g

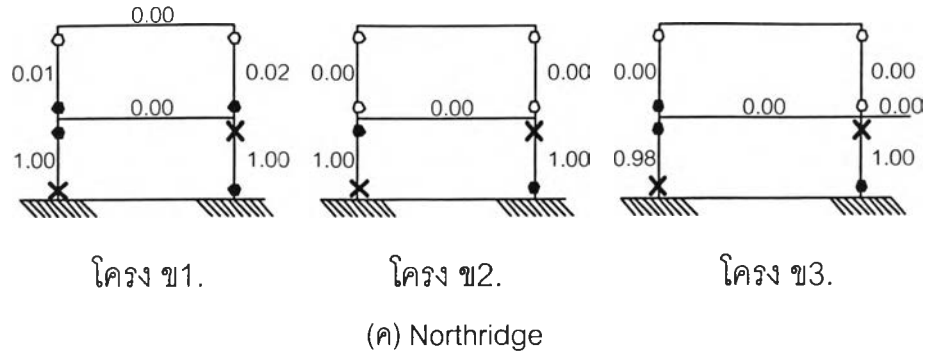


รูปที่ 4.51 การตอบสนองของอาคาร ข. ภายใต้คลื่น Northridge 0.20g

รูปแบบความเสียหายและค่าดัชนีความเสียหายของอาคารแสดงดังรูปที่ 4.52 พบว่าเกิดความการร้าวในเสาชั้นที่ 1 ทั้งชั้น ในกรณีคลื่น El Centro และ Loma Prieta พบว่ามีเสียบางเสาที่เกิดการร้าวอย่างรุนแรงจนกระทั่งเกิดการวิบัติในโครง ข2. และ ข3. ซึ่งเป็นโครงส่วนใหญ่ของอาคาร และในกรณีคลื่น Northridge เกิดการวิบัติในเสาเป็นจำนวนมาก ซึ่งการร้าวที่รุนแรงจนกระทั่งทำให้เกิดการวิบัติอาจทำให้อาคารเรียน ข. เกิดการวิบัติของอาคารเนื่องจากการวิบัติของชั้นที่ 1 แล้ว แต่โปรแกรม IDARC ver 4.0 ยังไม่สามารถแสดงถึงการวิบัติดังกล่าวได้ ทำให้การคำนวณกระทำไปจนกระทั่งสิ้นสุดการสั่นของคลื่น สำหรับคานพบว่าเกิดรอยร้าวเฉพาะในบริเวณกลางช่วงคาน ค่าดัชนีความเสียหายของเสาอยู่ในระดับเสียหายอย่างรุนแรงมาก ไม่สามารถซ่อมแซมได้ถึงระดับที่เกิดการวิบัติ ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าอาคารดังกล่าวนี้ไม่มีความปลอดภัยที่จะนำไปใช้งานได้อีกต่อไป



รูปที่ 4.52 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g



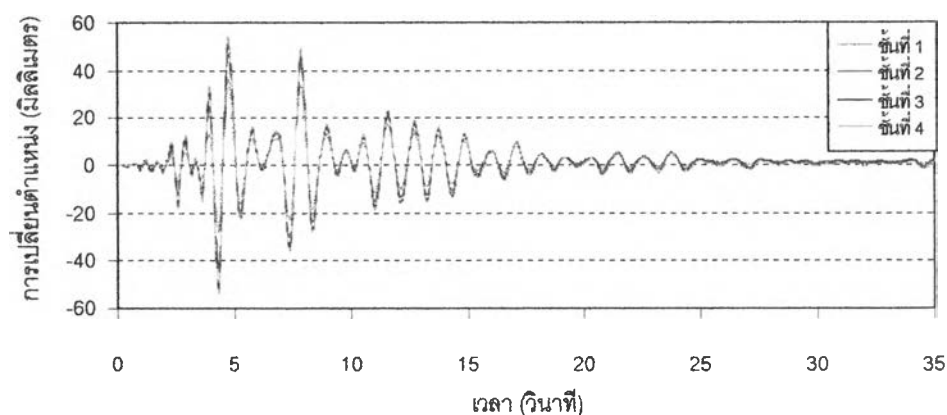
รูปที่ 4.52(ต่อ) ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคาร ข. ภายใต้คลื่น El Centro, Loma Prieta และ Northridge ขนาด 0.20g

จากการวิเคราะห์อาคารเรียน ข. ภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบสถิต และภายใต้แรงแผ่นดินไหว พบว่าได้ผลในลักษณะเดียวกัน โดยที่ความสามารถในการรับแรงด้านข้างของอาคารและรูปแบบความเสียหายใกล้เคียงกัน แต่ลำดับการเกิดการครากในชั้นส่วนต่างกันไปบ้าง เนื่องจากผลของการกระทำของแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นใน 2 ทิศทาง และลักษณะของอาคารซึ่งไม่มีความสมมาตร ทำให้การวิเคราะห์แบบใช้แรงดันด้านข้างกระทำในแต่ละทิศทาง ได้ผลที่แตกต่างกัน อาคาร ข. ภายใต้แรงแผ่นดินไหวขนาด 0.10g เกิดความเสียหายในระดับที่เสียหายปานกลางถึงรุนแรง โดยที่ยังไม่เกิดการวิบัติของอาคาร และในกรณีของแผ่นดินไหวขนาด 0.20g พบว่าอาคาร ข. เกิดความเสียหายอย่างมากในเสาชั้นที่ 1 โดยเฉพาะเสาในชั้นที่ 1 เกิดความเสียหายจนอยู่ในระดับรุนแรงมากถึงระดับที่เกิดการวิบัติ เช่นเดียวกับกรณีของอาคาร ก. ซึ่งผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยแรงดันด้านข้างแบบสถิต ซึ่งพบว่าการวิบัติของอาคารภายใต้แรงกระทำด้านข้างเนื่องมาจากการวิบัติของเสาในชั้นที่ 1 โดยพบว่าค่าแรงเฉือนที่ฐานสูงสุดใกล้เคียงกัน

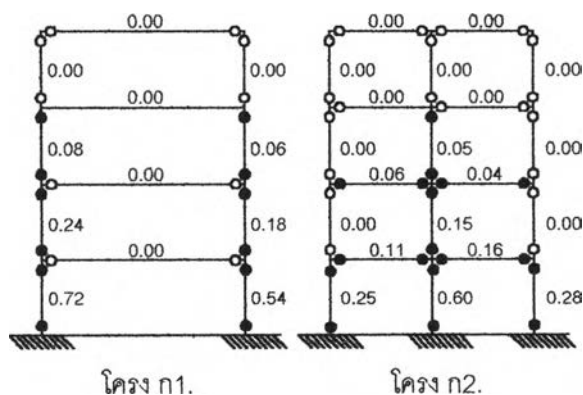
4.2.5 อาคารเรียน ก. ภายใต้แผ่นดินไหวขนาด 0.15 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้ค่าความเร่งของผิวดินสูงสุดเท่ากับ 0.10g และ 0.20g แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับประเทศไทยแล้ว จัดอยู่ในเขตแผ่นดินไหวปานกลาง (Zone 2A) ซึ่งตามมาตรฐาน UBC กำหนดให้มีค่าความเร่งของผิวดินสูงสุดสำหรับความน่าจะเป็นของการเกิดค่าเกินไป 10 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 50 ปี มีค่าเท่ากับ 0.15g ดังนั้นจึงจะได้พิจารณาถึงความเสียหายของอาคารภายใต้แผ่นดินไหวขนาดดังกล่าวด้วย

โดยพิจารณากรณีของอาคารเรียน ก. ภายใต้อิทธิพลแผ่นดินไหว Loma Prieta ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายมากที่สุดในกรณีคลื่นขนาด 0.20g ความเสียหายที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.2. พบว่าเกิดการครากในเสาของโครงที่ 1 และ 2 สำหรับคนเกิดการครากในโครงที่ 2 เช่นเดียวกับกรณีคลื่นขนาด 0.20g แต่ความรุนแรงลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ค่าดัชนีความเสียหายที่อยู่ในพจน์ของพลังงานหรือความเสียหายที่เกิดจากการกระทำซ้ำของแรงมีผลค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพจน์ของการเปลี่ยนรูปร่างแบบอินอีลาสติก เนื่องจากการที่พจน์ดังกล่าวมีการคูณกับพารามิเตอร์ β ซึ่งได้มาจากการทดลองดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าที่ต่ำ โดยรวมแล้วอาคารเกิดความเสียหายมากในเสาชั้นที่ 1 ซึ่งจัดอยู่ในระดับเสียหายรุนแรง แต่ยังไม่ก่อให้เกิดการวิบัติ ดังเช่นในกรณีของคลื่นแผ่นดินไหวขนาด 0.20g แสดงให้เห็นว่าสำหรับแผ่นดินไหวที่มีความรุนแรงตามการแบ่งเขตแผ่นดินไหว มีโอกาสที่จะทำให้อาคารเกิดความเสียหายที่รุนแรงได้



รูปที่ 4.53 การเปลี่ยนตำแหน่งที่ชั้นต่างๆ ของอาคาร ก. ภายใต้อิทธิพล Loma Prieta 0.15g



รูปที่ 4.54 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารเรียน ก. ภายใต้อิทธิพล Loma Prieta 0.15g