บทที่ 4

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว, Z สำหรับประเทศไทยนั้นมีผู้วิจัยไม่มากนัก เมื่อปี พ.ศ. 2533 ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ (8) ได้เสนอผลการศึกษาเพื่อหาค่า Z สำหรับ กทม. และเขต 2 แต่สำหรับค่า Z ของพื้นที่ในเขตภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทยนั้นยังไม่มีงานวิจัยที่พิจารณาถึง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่า Z สำหรับพื้นที่ดังกล่าว โดยจะหาจากการเปรียบเทียบผลรวมของแรงเฉือนที่ฐานของโครงข้อแข็งซึ่งได้จากการวิเคราะห์การต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์ (Statics) และวิธีทางพลศาสตร์ (Dynamics)

4.1 กรณีศึกษา

งานวิจัยนี้จะใช้กรณีศึกษาจำนวน 3 กรณีดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.3 โดยมีรายละเอียดการเสริมเหล็กบริเวณที่รองรับของคานแสดงไว้ในแต่ละรูป และรายละเอียดอื่น ๆ มีดังนี้คือ

กรณีศึกษาที่ 1 เป็นโครงข้อแข็งในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 4 ชั้น 3 ช่วงระยะห่างระหว่างโครงข้อแข็ง จากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางเท่ากับ 3.90 เมตร ถูกออกแบบโดยใช้กำลังอัดประลัยของคอนกรีต, fc = 210 กก/ซม.^{2} และกำลังคลากของเหล็ก, fy = 3000 กก/ซม.^{2} น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นทุกชั้น = 300 กก/ม.^{2} น้ำหนักบรรทุกจรของพื้นเท่ากับ 150 กก/ม.^{2} ดังแสดงในรูปที่4.1

กรณีศึกษาที่ 2 และ 3 เป็นโครงข้อแข็งในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 12 ชั้น กว้าง 3 ช่วง ระยะห่างระหว่างโครงข้อแข็งจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลางเท่ากับ 5.0 เมตร ถูกออกแบบโดยใช้กำลังอัดประลัยของคอนกรีต, fc = 240 กก/ซม.^{2} และกำลังคลากของเหล็ก, fy = 4000 กก/ซม.^{2} นำหนักบรรทุกคงที่ของพื้นชั้นล่างถึงชั้น 12 = 300 กก/ม.^{2} และชั้นหลังคา = 400 กก/ม.^{2} น้ำหนักบรรทุกจรของพื้นชั้นล่างถึงชั้น 12 = 250 กก/ม.^{2} และชั้นหลังคา = 400 กก/ม.^{2} ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

อาคารทั้ง 3 ออกแบบตามมาตรฐาน วสท. และพระราชบัญญัติควบคุมอาคารโดยใช้ทฤษฎีกำลังประลัยภายใต้ตัวประกอบภาระ (Load factor) 1.7 สำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ และ 2.0

สำหรับน้ำหนักบรรทุกจร โดยที่กรณีศึกษาที่ 2 และ 3 ได้คิดผลของแรงลมตามข้อกำหนดของกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ด้วย

จากรายละเอียดเหล็กเสริมในคานของกรณีศึกษาทั้ง 3 จะเห็นได้ว่าปริมาณของเหล็กล่างน้อยกว่าเหล็กบนค่อนข้างมาก โดยเฉพาะกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 ดังนั้นค่าโมเมนต์คลากบวก (positive yield moment) ก็จะมีค่าน้อยกว่า ค่าโมเมนต์คลากลบ (negative yield moment) ค่อนข้างมากด้วย ค่าโมเมนต์คลากของคานในกรณีศึกษาทั้ง 3 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ซ.

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์

การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีพื้นฐานมาจากมาตรฐานของ ยูนิฟอร์ม บิลดิ้ง โค้ด (UNIFORM BUILDING CODE), UBC โดยมีการแก้ไขพารามิเตอร์บางตัวเพื่อให้เหมาะสมสำหรับประเทศไทย และจะเสนอเป็นกฎกระทรวงโดยคณะอนุกรรมการร่างกฎกระทรวง วางข้อกำหนดในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว รายละเอียดของร่างกฎกระทรวง ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นดังนี้คือ ค่า Z เท่ากับ 0.25 ; ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร, I เท่ากับ 1.0 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และเท่ากับ 1.25 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 ; สัมประสิทธิ์ของระบบโครงสร้าง, K = 1.0 ; สัมประสิทธิ์ทางพลศาสตร์, C = 0.1125 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และเท่ากับ 0.074 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 และ 3; สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติของแผ่นดินไหว, S = 1.0 โปรแกรมการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ของกรณีทั้ง 3 แสดงไว้ในภาคผนวก ช.

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีทางพลศาสตร์

การวิเคราะห์ผลการตอบสนองต่อแรงแผ่นดินไหวด้วยวิธีทางพลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี time-domain analysis โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป DRAIN-2D ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์โครงข้อแข็งในระนาบ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในช่วงอิลาสติก (elastic) และ อินอิลาสติก (inelastic) โดยจะใช้แผ่นดินไหวซึ่งถูกจำลองขึ้น กระทำกับกรณีศึกษาทั้ง 3 เป็นเวลานาน 10 วินาที

แรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่อโครงสร้างนี้จะใช้กฎเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. จะใช้ค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ยซึ่งเท่ากับ 75 gals สำหรับพื้นที่ทั่วไปในภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย และเท่ากับ 90 gals สำหรับบริเวณที่ใกล้รอยเลื่อนในบริเวณ อ.ฝาง และ อ.ศรีสวัสดิ์ (นั่นคือบริเวณที่แลเงาไว้ในรูปที่ 2.9 และต่อไปนี้จะเรียกว่าเขตแผ่นดินไหวรุนแรง) ในรูปที่ 2.9 เป็นค่าแรงปลอดภัยสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างในช่วงอิลาสติก
2. สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างในสภาวะประลัย จะใช้ค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ยบวกค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 116 gals สำหรับพื้นที่ทั่วไปในภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย และเท่ากับ 140 gals สำหรับในรูปที่ 2.10 เป็นค่าแรงประลัย

4.4 <u>การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์และทางพลศาสตร์</u>

ค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว, Z สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนทั้งหมดที่ฐานของโครงสร้างซึ่งถูกระทำด้วยแรงแผ่นดินไหว จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์และทางพลศาสตร์ ค่าแรงเฉือนซึ่งหาจากวิธีทางสถิตยศาสตร์นั้นจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร, I สัมประสิทธิ์ของระบบโครงสร้าง, K สัมประสิทธิ์ทางพลศาสตร์, C สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติของแรงแผ่นดินไหว, S ซึ่งค่า I,K,C,S นี้ขึ้นอยู่กับลักษณะ ขนาด และคุณสมบัติของโครงสร้างโดยไม่ขึ้นกับท้องที่ที่พิจารณา ส่วนค่า Z นั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มของการสั่นไหวในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นค่า Z จะเป็นตัวแปรซึ่งหาได้จากการเปรียบเทียบนี้

ตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบเพื่อหาค่า Z โดยใช้แรงแผ่นดินไหวในสภาวะประลัยสำหรับวิธีทางพลศาสตร์กระทำกับกรณีศึกษาทั้ง 3 ในแต่ละกรณีศึกษาจะคิดแยกเป็นอีก 2 กรณี คือ กรณีแรกจะคิดผลของแผ่นดินไหวร่วมกับผลของน้ำหนักบรรทุกคงที่คูณด้วยตัวประกอบภาระ 1.7 เท่านั้น ส่วนกรณีหลังจะคิดผลของน้ำหนักบรรทุกจรร่วมด้วย (คูณด้วยตัวประกอบภาระ 2.0 ด้วย) เพื่อให้เป็นสัดส่วนกับน้ำหนักบรรทุกคงที่ จะใช้ค่ามวล (mass) คูณด้วยตัวประกอบภาระ 1.7 ด้วยสำหรับวิธีทางสถิตยศาสตร์นั้นจะกำหนดค่าเบื้องต้นของค่า Z เท่ากับ 0.25 ซึ่งแรงเฉือนที่ได้นั้นจะเป็นค่าแรงปลอดภัย ดังนั้นจึงต้องคูณด้วยตัวประกอบภาระ 2.0 เพื่อเป็นค่าแรงเฉือนประลัย ค่าคาบเวลาของโครงสร้างที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 นั้นเป็นค่าคาบเวลาการแกว่งไกวธรรมชาติพื้นฐานใน

ช่วงอิลาสติก (fundamental natural period of vibration) จากรูปที่ 4.4 จะได้ค่า Z เฉลี่ยเท่ากับ 0.27 และจากรูปที่ 4.5 จะได้ค่า Z เฉลี่ยเท่ากับ 0.31

4.5 บทวิจารณ์

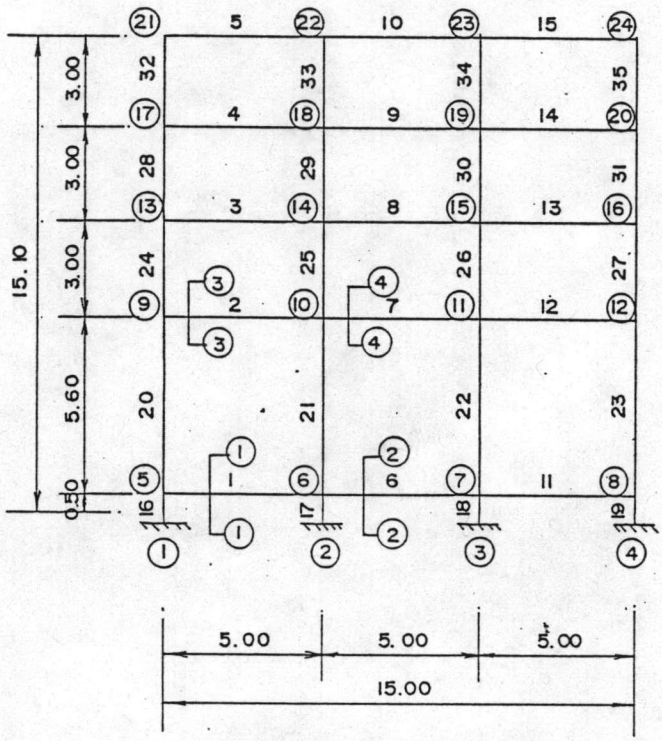
จากผลการวิจัยสามารถตั้งข้อสังเกตได้ดังต่อไปนี้

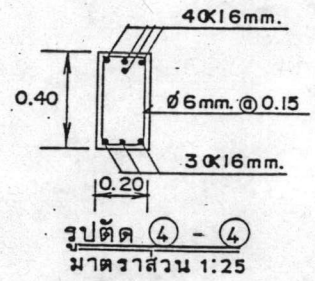
1. ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้มีคาบเวลาธรรมชาติค่อนข้างยาว แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วอาคารทั่วไปยังประกอบด้วยส่วนประกอบอื่นซึ่งมิใช่ส่วนโครงสร้าง อาทิเช่น ผนังก่ออิฐ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้อาคารมีสติฟเนสสูงขึ้นและทำให้คาบเวลาธรรมชาติลดลง เมื่อดูผลจากสเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งแล้วจะเห็นได้ว่า โดยทั่วไปสำหรับโครงสร้างอ่อนเมื่อคาบเวลาธรรมชาติลดลงค่าการตอบสนองก็จะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นค่า Z ที่ได้จะมีแนวโน้มค่าต่ำกว่าความเป็นจริงถ้าการตอบสนองอยู่ในช่วงอิลาสติกเป็นส่วนใหญ่
2. สำหรับอาคาร 12 ชั้น ในกรณีศึกษาที่ 3 ในทางปฏิบัติเมื่อพิจารณาผลขององค์อาคารประกอบอื่นด้วย ที่ไม่ใช่ส่วนโครงสร้างแล้ว คาบเวลาการสั่นไหวธรรมชาติน่าจะมีค่าประมาณ 1.2-1.5 วินาที หากสมมติค่า 1.2 วินาทีแล้วคำนวณค่าแรงเฉือนที่ฐานโดยใช้วิธีสเปกตรัมการตอบสนองจะได้ค่าแรงเฉือนเท่ากับ 75699 kg ซึ่งมีค่าประมาณ 1.86 เท่าของค่าที่ได้จากการคำนวณตามร่างกฎกระทรวงฯ Z มีค่าประมาณ 0.46 ซึ่งมีค่าสูงเนื่องจากการตอบสนองอยู่ในช่วงอิลาสติก แต่ถ้าโครงสร้างนั้นได้รับการออกแบบให้มีความเหนียวโดยที่หน้าตัดสามารถหมุนไปได้เพียงพอในขณะที่โครงสร้างเกิดการคลากขึ้น ค่าการตอบสนองก็จะลดลงมาอีก สำหรับระบบ SDOF นั้นได้มีผู้วิจัย (ดูในเอกสารที่ 15) พบว่าสำหรับโครงสร้างที่มีคาบเวลายาวพอประมาณและมีอัตราส่วนความเหนียวไม่น้อยกว่า 4 ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะลดลงเหลือเพียงประมาณ 25% เมื่อเทียบถึงกรณีโครงสร้างอิลาสติก นอกจากนี้เมื่ออาคารสั่นไหวจนทำให้ผนังที่ไม่ใช่ส่วนโครงสร้างแตกร้าว หรือเมื่อเกิดการคลากขึ้นในองค์อาคารแล้ว สติฟเนสของอาคารจะลดลงทำให้คาบเวลาการสั่นไหวธรรมชาติยาวขึ้น ผลก็คือค่า Z จะลดลง 40% จากค่า 0.46 ลงมาอยู่ในระดับ 0.27 ได้โดยไม่ยากเพียงแต่ให้คานมีอัตราส่วนความเหนียวเพียงพอ คาดว่าในระดับ 4-9 การวิเคราะห์

สำหรับกรณีที่กล่าวมานี้จำต้องคำนึงถึงการแตกร้าวของผนังส่วนไม่รับกำลัง ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบข่ายของงานวิจัยนี้

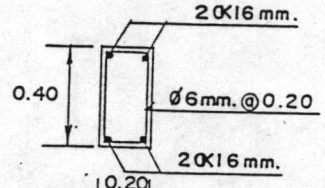
3. ค่า Z ซึ่งหาได้จากเขตแผ่นดินไหวรุนแรงมีค่ามากกว่าค่าซึ่งได้จากพื้นที่ทั่วไปเพียง 15% ในขณะที่ค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินมีค่ามากกว่า 20% นั้น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนรูปในช่วงอินอิลาสติกจะทำให้เกิดการสลาย (dissipate) พลังงานทำให้เกิดแรงน้อยลง แรงเฉือนที่ฐานจึงไม่เพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้น

CASE I

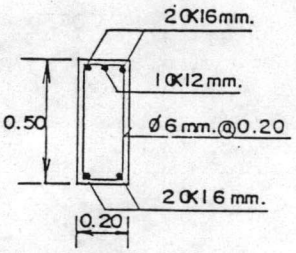




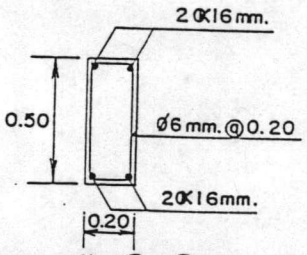
รูปตัด ④ - ④
มาตราส่วน 1:25



รูปตัด ③ - ③
มาตราส่วน 1:25



รูปตัด ② - ②
มาตราส่วน 1:25



รูปตัด ① - ①
มาตราส่วน 1:25

หมายเหตุ

เสาตอม่อ - เสาชั้น 1 ขนาด 0.25 × 0.30 ม.

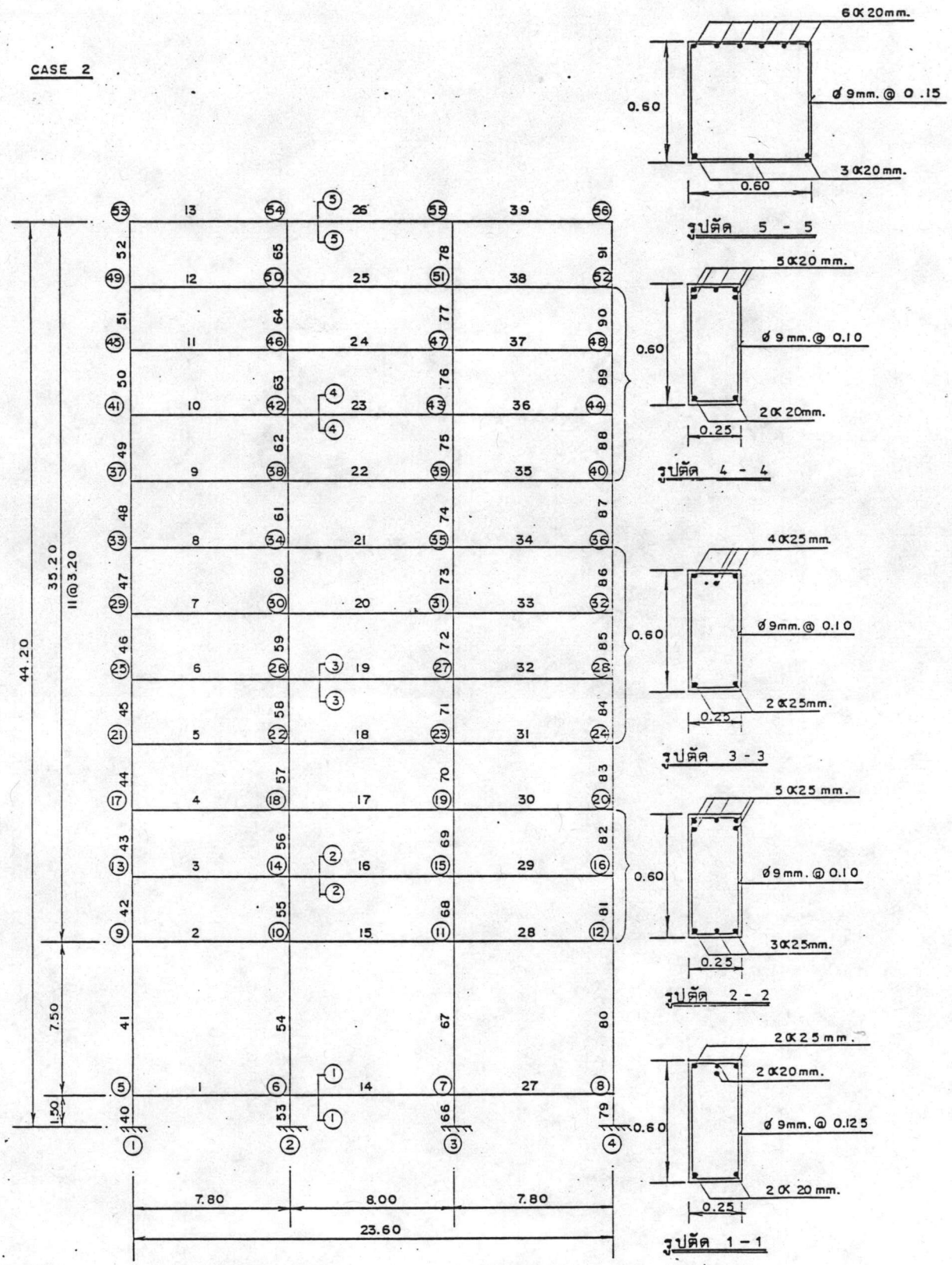
เสาชั้น 2 – เสาชั้น 4 ขนาด 0.20 × 0.20 ม.

คานชั้น 1 ขนาด 0.20 × 0.50 ม.

คานชั้น 2 - ชั้นหลังคา ขนาด 0.20 × 0.40 ม.

รูปที่ 4.1 กรณีศึกษาที่ 1

CASE 2



หมายเหตุ

เสาต้นริมทุกชั้นขนาด 0.60 × 0.60 ม.

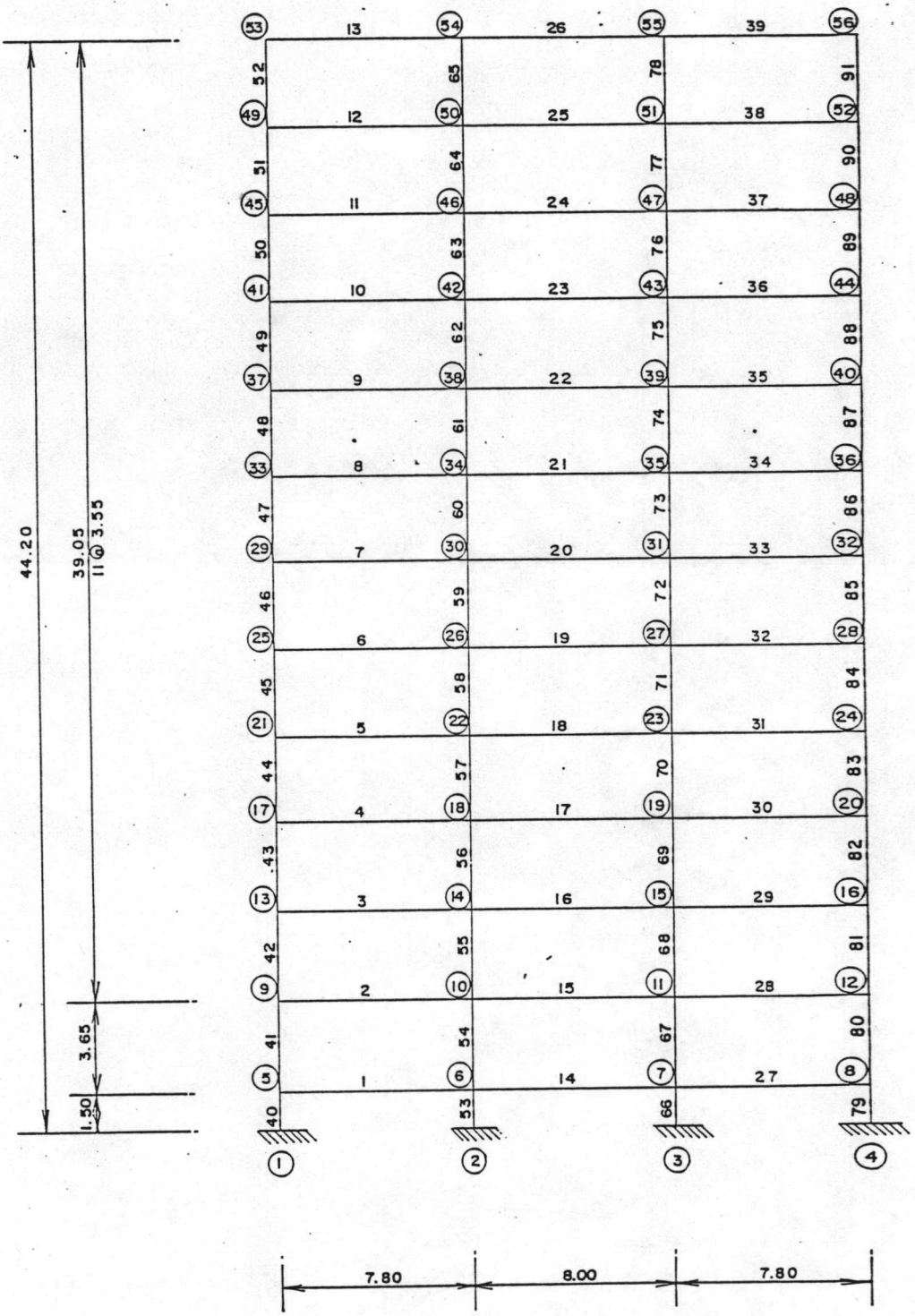
เสาต้นในทุกชั้นขนาด 0.80 × 0.60 ม.

คานชั้น 1 – คานชั้น12 ขนาด 0.25 × 0.60 ม.

คานชั้นหลังคาขนาด 0.60 × 0.60 ม.

รูปที่ 4.2 กรณีศึกษาที่ 2

CASE 3



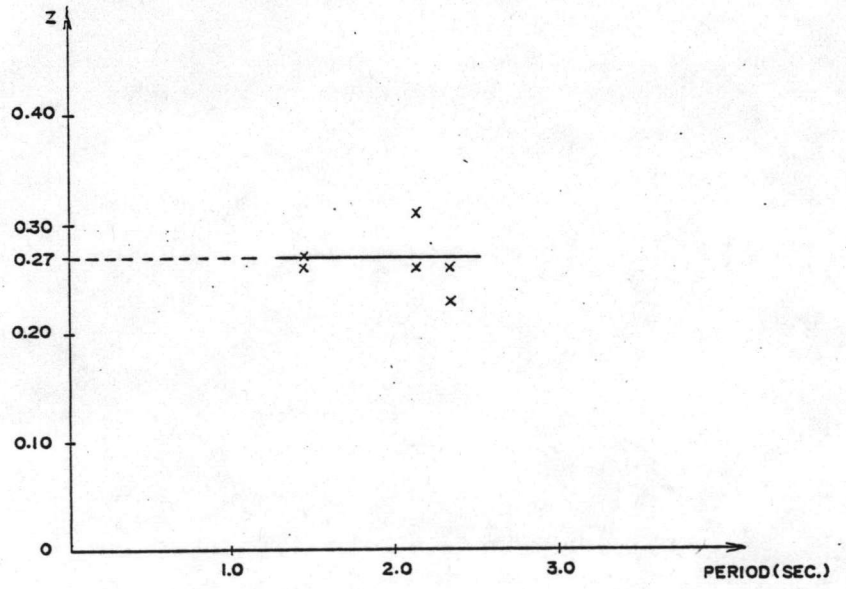
หมายเหตุ รายละเอียดของเสาและคานเหมือนกับกรณีศึกษาที่ 2.

รูปที่ 4.3 กรณีศึกษาที่ 3

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบ เพื่อหาค่า Z ของพื้นที่ที่มีค่าอัตราเร่งเฉลี่ย = 75 gals

กรณีศึกษา	คาบของเวลา	แรงเฉือนที่ฐาน (กก.)		ค่า Z ที่ได้จาก
	โครงสร้าง,วินาที	วิธีทางสถิตยศาสตร์	วิธีทางพลศาสตร์	วิธีทางพลศสาตร์
		2.0 V	V_u	
1 DL	1.47	6403	6989	0.27
DL+LL	1.47	6403	6571	0.26
2 DL	2.35	40630	41886*	0.26
DL+LL	2.35	40630	36893	0.23
3 DL	2.16	40630	50524	0.31
DL+LL	2.16	40630	42179	0.26

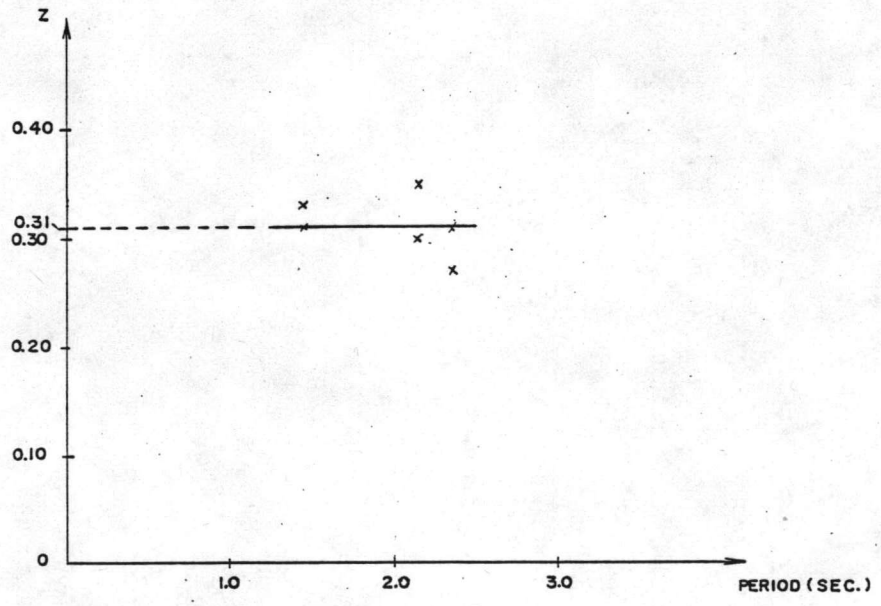
หมายเหตุ * ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าไม่เกิดการคลากแต่อย่างใด



รูปที่ 4.4 แสดงการหาค่า Z เฉลี่ย (จากค่าในตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบ เพื่อหาค่า Z ของพื้นที่ที่มีค่าอัตราเร่งเฉลี่ย = 90 gals

กรณีศึกษา		คาบเวลาของโครงสร้าง,วินาที	แรงเฉือนที่ฐาน (กก.)		ค่า Z ที่ได้จากวิธีทางพลศาสตร์
			วิธีทางสถิตยศาสตร์ 2.0 V	วิธีทางพลศาสตร์ V_u	
1	DL	1.47	6403	8317	0.33
	DL+LL	1.47	6403	7832	0.31
2	DL	2.35	40630	49621	0.31
	DL+LL	2.35	40630	43340	0.27
3	DL	2.16	40630	57309	0.35
	DL+LL	2.16	40630	49344	0.3



รูปที่ 4.5 แสดงการหาค่า Z เฉลี่ย (จากค่าในตารางที่ 4.2)