ผลของการตอบสนองต่อแผ่นดินไหวของอาคารในภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทย

นายกรุง อังคนาพร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พศ.2535

ISBN 974-581-325-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018486 i17204215

EARTHQUAKE RESPONSE OF BUILDINGS IN NORTHERN AND WESTERN PARTS OF THAILAND

MR.KRUNG ANGKANAPORN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-325-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการตอบสนองต่อแผ่นดินไหวของอาคารในภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทย
โดย	นายกรุง อังคนาพร
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

.....
กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พูลศักดิ์ เพียรสุสม)

.....
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุง อังคนาพร : ผลของการตอบสนองต่อแผ่นดินไหวของอาคาร ในภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทย (EARTHQUAKE RESPONSE OF BUILDINGS IN NORTHERN AND WESTERN PARTS OF THAILAND) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, 231 หน้า. ISBN 974-581-325-7

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลการตอบสนองของอาคารในภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยต่อแผ่นดินไหวที่จำลองขึ้น โดยใช้พื้นฐานของข้อมูลแผ่นดินไหวในอดีตรอบ ๆ ประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2506-2532 ผลการวิจัยให้การคาดคะเนค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน, สเปกตรัมการตอบสนองสำหรับช่วงอิลาสติก, ค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว เพื่อใช้ในวิธีคำนวณแรงเฉือนเทียบเท่าสถิตย์ และค่าอัตราส่วนความเหนียวที่เหมาะสมของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ควรออกแบบ

โดยการใช้แบบจำลองหาค่าอัตราเร่งของ Estava จากแหล่งกำเนิดในอดีต และนำค่าอัตราเร่งมาวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีความเป็นไปได้ ทำให้สามารถหาฟังก์ชันการกระจายสะสมของค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน จากนั้นทำการจำลองโดยวิธี มองทีคาร์โล จะหาค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินได้ ผลการวิจัยพบว่าค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ยของพื้นที่ที่ศึกษานี้เท่ากับ 75 ซม./(วินาที)^2 และค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ยบวกความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 116 ซม./(วินาที)^2 ยกเว้นพื้นที่บริเวณเล็ก ๆ ภายในรัศมี 50 กิโลเมตร ใกล้ศูนย์กลางแผ่นดินไหวที่เคยเกิดขึ้นใน อ.ฝาง จ.เชียงใหม่ และ อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็น 90 และ 140 ซม./(วินาที)^2 ตามลำดับ

โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SIMQKE สามารถจำลองคลื่นแผ่นดินไหว และสามารถหาสเปกตรัมการตอบสนองในช่วงอิลาสติกได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบอาคาร

จากการวิเคราะห์โครงข้อแข็ง 3 กรณีศึกษา (คาบการสั่นไหวธรรมชาติประมาณ 1.5-2.4 วินาที) ภายใต้แรงแผ่นดินไหวขนาดที่มีอัตราเร่งที่ผิวดินเท่ากับ 116 ซม./(วินาที)^2 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Drain-2D โดยการพิจารณาให้เสามีคุณสมบัติอยู่ในช่วงอิลาสติก แต่ชิ้นส่วนคานสามารถเกิดการคลากได้นั้น สามารถหาค่า Z สำหรับพื้นที่ที่ศึกษานี้เท่ากับ 0.27 ยกเว้นบริเวณ อ.ฝาง และ อ.ศรีสวัสดิ์ ซึ่งได้ค่า Z = 0.31 ค่า Z ที่ได้นั้นเหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีคาบเวลาธรรมชาติยาว สำหรับโครงสร้างที่มีคาบเวลาธรรมชาติสั้นอาจจะมีค่าสูงกว่านี้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าชิ้นส่วนโครงสร้างถูกออกแบบให้มีอัตราส่วนความเหนียวมากน้อยเพียงไร ค่าอัตราส่วนความเหนียวสำหรับอาคารที่ศึกษาพบว่าอยู่ระหว่าง 4-9 โดยที่อาคารที่เตี้ยและไม่ได้พิจารณาผลของแรงลมจะเกิดการคลากในชิ้นส่วนเร็ว ทำให้ต้องการความเหนียวเชิงมุมมาก

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C015101 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD : EARTHQUAKE/RESPONSE/ZONE FACTOR/DUCTILITY
KRUNG ANGKANAPORN : EARTHQUAKE RESPONSE OF BUILDINGS IN NORTHERN AND WESTERN PARTS OF THAILAND THESIS ADVISOR : PROF.PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D. 231 PP. ISBN 974-581-325-7

This thesis aims at investigating the responses of structures located in the northern and western parts of Thailand caused by generated earthquakes based on past earthquake records from 1963 to 1989. Results of the study include predicted peak ground accelerations, elastic response spectra, zone factor for computation of equivalent static force and proper ductility requirement for design of reinforced concrete structures.

By using Estava's attenuation model to compute peak ground accelerations at the given site, the peak ground accelerations were analysed by means of probabilistic theory to obtain the cumulative density function. The Monte Carlo simulation technique was then applied to simulate earthquake events. The maximum mean peak ground acceleration amplitude was found to be 75 gals and the mean plus one standard deviation peak amplitude was 116 gals, except for the small areas within radii of 50 kilometers from the previous epicenters in (or close to) Chiangmai and Karnjanaburi provinces for which the corresponding values were 90 and 140 gals, respectively.

By using SIMQKE computer program, the elastic response spectra for the generated earthquakes were computed, which are useful for seismic analyses of structures.

Case studies include three frames (with natural periods analyses 1.5-2.4 sec.) subjected to extreme earthquakes with peak ground acceleration of 116 gals. The DRAIN-2D program was used to perform the dynamic analyses. Columns were assumed to remain elastic while inelastic deformation could occur in beams. The zone factor of the area studied was found to be 0.27, expect for the small areas previously mentioned whose value was 0.31. These values are appropriate for long period buildings. For stiffer structures, they might be somewhat larger depending on the ductility of the members. The ductility ratio for the cases studied was between 4-9. For low rise buildings not designed for wind load effects, premature yielding would occur demanding large rotational ductility ratio.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้คงจะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ถ้าขาด ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า ผู้ซึ่งให้โอกาส กำลังใจ ให้คำปรึกษา และคอยติดตามช่วยเหลือในแนวความคิดต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้าอย่างมากมาย ซึ่งข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านอันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ และ อาจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุสม ที่ได้ให้ความกรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ศาสตราจารย์ ดร. อรุณ ชัยเสรี ผู้ซึ่งให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าในการลาศึกษา คอยให้กำลังใจและติดตามผลเสมอมา ดร. สุริยา ทัศนียานนท์ ผู้ซึ่งคอยแก้ไขปัญหาให้ข้าพเจ้าในหลาย ๆ ครั้ง ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่กรุณาให้ข้อมูลของแผ่นดินไหวที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ที่บริษัท อรุณชัยเสรี คอนซัลติ้ง เอนจิเนียร์ส จำกัด ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณ อุ้ม ที่ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ และท้ายสุดนี้ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าทุก ๆ คนที่คอยเป็นกำลังใจและทำให้ข้าพเจ้ามาถึงจุดนี้ได้

กรุง อังคนาพร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ฐ
สัญญลักษณ์	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความนำ	1
1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย	3
1.4 ขอบข่ายของงานวิจัย	3
1.5 วิธีการวิจัย	4
บทที่ 2 การหาค่าอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดิน	8
2.1 แบบจำลองสำหรับหาอัตราเร่งที่ผิวดิน	8
2.2 การแจกแจงความถี่และการวิเคราะห์การถดถอย	9
2.3 การหาค่าฟังชั่นการกระจายสะสม	12
2.4 ผลของอายุการใช้งานของโครงสร้างต่อค่าอัตราเร่ง	14
2.5 การปรับแก้ค่าฟังชั่นการกระจาย	17
2.6 ค่าอัตราเร่งสูงสุดและเส้นชั้นขนาดของอัตราเร่งที่ผิวดิน	18
บทที่ 3 การหาสเปกตรัมการตอบสนอง	27
3.1 การจำลองคลื่นแผ่นดินไหว	27
3.2 สเปกตรัมการตอบสนองต่อแผ่นดินไหว	32
บทที่ 4 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว	47
4.1 กรณีศึกษา	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์ 48

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีทางพลศาสตร์.. 48

4.4 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิตยศาสตร์และทางพลศาสตร์ 49

4.5 บทวิจารณ์ 50

บทที่ 5 การหาค่าอัตราส่วนความเหนียวของโครงสร้าง 60

5.1 อัตราส่วนความเหนียวของคาน 60

5.2 แบบจำลองในการวิเคราห์คานคอนกรีตเสริมเหล็กของโปรแกรม DRAIN-2D 61

5.3 กรณีศึกษา 63

5.4 บทวิจารณ์ 64

บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 70

6.1 ข้อสรุป 72

6.2 ข้อเสนอแนะ 73

เอกสารอ้างอิง 74

ภาคผนวก ก. ข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2506-2532 78

ภาคผนวก ข. ค่าอัตราเร่งที่ผ่านแบบจำลอง Estava ที่จุดต่าง ๆ 102

ภาคผนวก ค. กราฟ CDF และ PDF ของจุดต่าง ๆ 125

ภาคผนวก ง. ค่าอัตราเร่งซึ่งได้จากการสุ่มของจุดต่าง ๆ 153

ภาคผนวก จ. ข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรม SIMQKE และการเตรียมค่า G_0 163

ภาคผนวก ฉ. แสดงข้อมูลของสเปกตรัมการตอบสนอง 189

ภาคผนวก ช. แสดงรายละเอียดโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างอาคารในระนาบต้านทานแผ่นดินไหวด้วยวิธีทางสถิต 202

ภาคผนวก ซ. แสดงรายละเอียดโปรแกรมวิเคราะห์หา ductility ของหน้าตัดคาน 213

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฌ. แสดงข้อมูลซึ่งใช้ป้อนสำหรับโปรแกรม DRAIN-2D 220

ประวัติผู้ศึกษา 231

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	พารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล	10
ตารางที่ 2.2	การเปรียบเทียบค่าอัตราเร่งโดยการเปรียบค่าอายุการใช้งาน	15
ตารางที่ 2.3	ตารางเปรียบเทียบขนาดของแผ่นดินไหว	20
ตารางที่ 2.4	การเปรียบเทียบค่าอัตราเร่งโดยการเปลี่ยนค่าอัตราเร่งสูงสุด	21
ตารางที่ 2.5	ค่าอัตราเร่งสูงสุด	23
ตารางที่ 4.1	การเปรียบเทียบเพื่อหาค่า Z ของพื้นที่ที่มีค่าอัตราเร่งเฉลี่ย = 75 gals	55
ตารางที่ 4.2	การเปรียบเทียบเพื่อหาค่า Z ของพื้นที่ที่มีค่าอัตราเร่งเฉลี่ย = 90 gals	56
ตารางที่ ช.1	การสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหว.	204
ตารางที่ ช.2	ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร	205
ตารางที่ ช.3	สัมประสิทธิ์ของระบบโครงสร้างที่รับแรงในแนวราบ	205
ตารางที่ ช.4	สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติของแผ่นดินไหว	206

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	ตำแหน่งของ epicenter ของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในระหว่าง พ.ศ. 2506-2532	6
รูปที่ 1.2	แสดงจุดต่าง ๆ ในงานวิจัยจำนวน 30จุด	7
รูปที่ 2.1	แสดงแบบจำลองสำหรับหาค่าอัตราเร่งของ Estava	9
รูปที่ 2.2	การแจกแจงความถี่สะสมกับอัตราเร่งของแผ่นดินไหว	11
รูปที่ 2.3	กราฟแสดงความถี่สะสมกับอัตราเร่งของแผ่นดินไหว	11
รูปที่ 2.4	การหาเส้นสัมพันธ์ความถี่กับอัตราเร่ง	12
รูปที่ 2.5	กราฟแสดง PDF และ CDF กับค่าอัตราเร่ง	14
รูปที่ 2.6	กราฟแสดงค่าอัตราเร่งกับค่าอายุการใช้งาน	16
รูปที่ 2.7	การปรับแก้ PDF และ CDF	17
รูปที่ 2.8	กราฟแสดงค่าอัตราเร่งกับค่าอัตราเร่งสูงสุด	22
รูปที่ 2.9	เส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ย	25
รูปที่ 2.10	เส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดเฉลี่ยบวกด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	26
รูปที่ 3.1	แสดง Spectral density function ของ Kanai-Tajimi	29
รูปที่ 3.2	การรวมคลื่นซายน์ที่ความถี่ต่าง ๆ	30
รูปที่ 3.3	ฟังก์ชั่นความเข้มเพื่อใช้ปรับผลรวมของคลื่นซายน์	31
รูปที่ 3.4	คลื่นแผ่นดินไหวที่ถูกจำลองขึ้น	31
รูปที่ 3.5	แสดงระบบ SDOF	32
รูปที่ 3.6	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งสำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 75 gals	35
รูปที่ 3.7	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งสำหรับค่าอัตราเร่งที่ฟิวดิน = 116 gals	35
รูปที่ 3.8	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่งสำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 75 gals	36

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร็วสำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 116 gals 36

รูปที่ 3.10 สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่ สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 75 gals 37

รูปที่ 3.11 สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่ สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 116 gals 37

รูปที่ 3.12 สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่ง สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 75 และ 116 gals 38

รูปที่ 3.13 สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร็ว สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 75 และ 116 gals 39

รูปที่ 3.14 สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่ สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 75 และ 116 gals 40

รูปที่ 3.15 สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่ง สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 90 gals 41

รูปที่ 3.16 สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่ง สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 140 gals 41

รูปที่ 3.17 สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร็ว สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 90 gals 42

รูปที่ 3.18 สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร็ว สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 140 gals 42

รูปที่ 3.19 สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่ สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 90 gals 43

รูปที่ 3.20 สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่ สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 140 gals 43

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.21	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่ง สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 90 และ 140 gals	44
รูปที่ 3.22	สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร็ว สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 90 และ 140 gals	45
รูปที่ 3.23	สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่ สำหรับค่าอัตราเร่งที่ผิวดิน = 90 และ 140 gals	46
รูปที่ 4.1	กรณีศึกษาที่ 1	52
รูปที่ 4.2	กรณีศึกษาที่ 2	53
รูปที่ 4.3	กรณีศึกษาที่ 3	54
รูปที่ 4.4	แสดงการหาค่า Z เฉลี่ย (จากค่าในตารางที่ 4.1)	55
รูปที่ 4.5	แสดงการหาค่า Z เฉลี่ย (จากค่าในตารางที่ 4.2)	56
รูปที่ 5.1	หนึ่งหน่วยความยาวของคานภายใต้แรงดัด	57
รูปที่ 5.2	การกระจายของความเครียดและความเค้นของคานที่จุดคลาก	58
รูปที่ 5.3	แสดงความโค้งคู่ของคาน	58
รูปที่ 5.4	การกระจายของความเครียดและความเค้นของคานที่จุดประลัย	59
รูปที่ 5.5	กราฟระหว่างโมเมนต์กับมุมหมุนของหน้าตัดคาน	60
รูปที่ 5.6	การจำลองชิ้นส่วนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก	61
รูปที่ 5.7	ความสัมพันธ์ของโมเมนต์และมุมหมุนตามแบบจำลองของ Takeda	61
รูปที่ 5.8	ความสัมพันธ์ของโมเมนต์และมุมหมุนจากการปรับปรุงแบบจำลองของ Takeda	62
รูปที่ 5.9	แสดงค่ามุมหมุนพลาสติกและอัตราส่วนความเหนียว ของกรณีศึกษาที่ 1	65
รูปที่ 5.10	แสดงค่ามุมหมุนพลาสติกและค่าอัตราส่วนความเหนียวของกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อคิดผลของน้ำหนักบรรทุกจรด้วย	65

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.11	ค่าอัตราส่วนความเหนียวของกรณีศึกษาที่ 1	66
รูปที่ 5.12	แสดงค่ามุมหมุนพลาสติกและค่าอัตราส่วนความเหนียวของกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อคิดผลของน้ำหนักบรรทุกจรด้วย	67
รูปที่ 5.13	ค่าอัตราส่วนความเหนียวของกรณีศึกษาที่ 2	68
รูปที่ 5.14	แสดงค่ามุมหมุนพลาสติกและค่าอัตราส่วนความเหนียว ของกรณีศึกษาที่ 3	69
รูปที่ 5.15	แสดงค่ามุมหมุนพลาสติกและค่าอัตราส่วนความเหนียวของกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อคิดผลของน้ำหนักบรรทุกจรด้วย	70
รูปที่ 5.16	ค่าอัตราส่วนความเหนียวของกรณีศึกษาที่ 3	71

สัญญลักษณ์

A = อัตราเร่ง

v = อัตราเร็ว

V = แรงเฉือน

ν = อัตราการเกิดเฉลี่ยต่อปี

a,b = เป็นพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

T_s = อายุการใช้งาน

T_r = คาบเวลาการกลับ

P_e = probability of exceedance

Q = ฟังก์ชันการกระจายสะสม

ω = ความถี่เชิงมุม

ω_g = ความถี่เด่นของชั้นดินแข็ง

ζ_g = ความหน่วงของชั้นดินแข็ง

ζ = อัตราส่วนความหน่วง

k = ค่าคงที่ของสปริง

m = มวล

C = สัมประสิทธิ์ความหน่วง

U = การเคลื่อนที่

S_a = สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร่ง

S_v = สเปกตรัมการตอบสนองของอัตราเร็ว

S_d = สเปกตรัมการตอบสนองของการเคลื่อนที่

ϵ = ความเครียด (strain)

d = ความลึกประสิทธิผล

M_y = โมเมนต์คลาก

M_u = โมเมนต์ประลัย

φ_y = ความโค้งคลาก

φ_u = ความโค้งประลัย

สัญญลักษณ์ (ต่อ)

θ_y = มุมหมุนคลาก

θ_u = มุมหมุนประลัย

θ_p = มุมหมุนพลาสติก

A_s = พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงดึง

A_s = พื้นที่หน้าตัดเหล็กรับแรงอัด

f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

f_y = กำลังคลากของเหล็ก

E_s = ค่า modulus of Elasticity ของเหล็ก

ρ = ค่าพื้นที่หน้าตัดของเหล็กต่อพื้นที่หน้าตัดของคาน