การศึกษาแบบจำลองสำหรับแรงลมและแรงแผ่นดินไหว
สำหรับพระราชบัญญัติควบคุมอาคารในประเทศไทย

นาย ธนากร จงวิลาสลักษณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-223-9

ลิขสิทธิ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18206098

A STUDY ON WIND AND EARTHQUAKE MODEL FOR THAI BUILDING CONTROL REGULATION

Mr. Tanakorn Jongvilaslux

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997

ISBN 974-639-223-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาแบบจำลองสำหรับแรงลมและแรงแผ่นดินไหว
สำหรับพระราชบัญญัติควบคุมอาคารในประเทศไทย

โดย นายธนากร จงวิลาสลักษณ์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ

.....

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุสม)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ธนากร จงวิลาสลักษณ์: การศึกษารูปแบบจำลองสำหรับแรงลมและแรงแผ่นดินไหวสำหรับพระราชบัญญัติควบคุมอาคารในประเทศไทย (A STUDY ON WIND AND EARTHQUAKE MODEL FOR THAI BUILDING CONTROL REGULATION) อ. ที่ปรึกษา: ศ.ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ , 122 หน้า, ISBN 974-639-223-9

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการออกแบบโครงสร้างเพื่อรับแรงลม และแผ่นดินไหวในประเทศไทย ตามสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และลักษณะการก่อสร้างในประเทศไทย การศึกษาจะใช้วิธีการหาแรงเทียบเท่าเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีสถิตย์ที่สะดวกและรวดเร็วแทนวิธีพลศาสตร์ที่ยาก และเสียเวลามากกว่า เริ่มแรกของการวิจัยได้กำหนดลักษณะโครงสร้างอาคารที่สอดคล้องกับวิธีการก่อสร้างในประเทศไทยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ อาคารต่ำมีความสูงไม่เกิน 10 ชั้น และกลุ่มอาคารสูงซึ่งแยกเป็น 3 ระดับ คือ 20 ชั้น 30 ชั้น และ 40 ชั้นเพื่อศึกษาความถี่ธรรมชาติของอาคารด้วยวิธีการทางพลศาสตร์ ซึ่งสามารถแปลงเป็นคาบของโครงสร้างได้ แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาการสนองตอบทางโครงสร้างในรูปของการขยับตัว แรงเฉือน และแรงดัดจากแรงลม และแรงจากแผ่นดินไหว ได้กำหนดการพัฒนาแบบจำลองในการหาแรงสถิตเทียบเท่าแทนวิธีทางพลศาสตร์นั้น ได้กำหนดตัวแปรหลักด้วยความสูงของอาคารและสติฟเนสของโครงสร้าง ขอบข่ายของการศึกษาได้กำหนดให้ระบบโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก น้ำหนักของโครงสร้างแต่ละชั้น และความสูงระหว่างชั้นเท่ากันตลอดความสูงของอาคาร

ผลของการศึกษาคาบของโครงสร้างพบว่าความสูงมีอิทธิพลสูงสุด และสติฟเนสโครงสร้างมีอิทธิพลเป็นรอง และการศึกษามิได้พิจารณาตัวแปรจากน้ำหนักหรือมวลของโครงสร้าง ซึ่งคาบของโครงสร้างตามความสูงอาจคาดคะเนอย่างง่ายที่ 0.10 วินาทีต่อชั้น หรือ 0.028 วินาทีต่อเมตร หรือสามารถคำนวณให้ละเอียดขึ้นจากสูตร $T = 0.034 H^{0.96}$ เมื่อ T คือ คาบของโครงสร้างมีหน่วยเป็นวินาที และ H คือ ความสูงของอาคารมีหน่วยเป็นเมตร และคาบของโครงสร้างตามสติฟเนสของโครงสร้าง อาจพิจารณาในสัดส่วนของผนังรับแรงเฉือนต่อโครงเฟรม ด้วยตัวคูณเทียบกับคาบเมื่อให้ผนังรับแรงเฉือนทั้งหมด

การพัฒนาแบบจำลองสำหรับแรงลมได้ใช้สเปกตรัมความเร็วลมของ Hino แทนลักษณะลมในประเทศไทยร่วมกับพฤติกรรมทางโครงสร้างทางพลศาสตร์ด้วยคาบของโครงสร้าง สามารถศึกษาลักษณะการกรรโชกของลมที่มีผลต่อการสนองตอบทางโครงสร้างแล้วกำหนดตัวประกอบการกรรโชกโดยจัดให้เป็นฟังก์ชันของความสูง สเปกตรัมของแรง และความดันของลม และได้สร้างกราฟเพื่อการออกแบบตามสัดส่วนความกว้างต่อความสูง (b / H) หาแรงลมสถิตเทียบเท่า ผลของการศึกษาการตอบสนองทางโครงสร้างในรูปของการขยับตัว แรงเฉือน และแรงดัดพบว่าได้ผลคล้องจองกับที่ในทุกระดับความสูงของอาคาร ยกเว้นเฉพาะในกรณีของอาคารสูงเกินกว่า 40 ชั้นที่มีความคลาดเคลื่อนของแรงดัดเกินกว่า 20 %

การพัฒนาแบบจำลองแรงจากแผ่นดินไหวด้วยสเปกตรัมความเร่งของนาซคลร่วมกับการคาดคะเนคาบทางโครงสร้างตามวิธีที่กำหนด จะสามารถหาแรงเทียบเท่าจากแผ่นดินไหวแปรตามความสูงได้ การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธีสถิตย์จะให้ค่าสนองตอบทางโครงสร้างในรูปของการขยับตัว แรงเฉือน และแรงดัด ที่ความสูงอาคาร 10 ชั้น, 20 ชั้นและ 30 ชั้น ให้ผลคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 % แต่สำหรับอาคารสูง 40 ชั้นความคลาดเคลื่อนของแรงเฉือนและ แรงดัดเกินกว่า 15 % จึงอาจพิจารณาใช้การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์แทน

ผลจากการศึกษาวิจัยแบบจำลองของแรงลมและแผ่นดินไหวในประเทศไทยจะสามารถเสนอแนะเป็นข้อกำหนดในพระราชบัญญัติควบคุมอาคารได้ด้วยความปลอดภัย สำหรับอาคารที่สูงไม่เกิน 40 ชั้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C715375 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: WIND RESISTANCE / EARTHQUAKE RESISTANCE

TANAKORN JONGVILASLUX: A STUDY ON WIND AND EARTHQUAKE MODEL FOR THAI BUILDING CONTROL REGULATION. THESIS ADVISOR: PROFESSOR EKASIT LIMSUWAN, Ph.D. 122 pp. ISBN 974-639-223-9

This research is to develop force model for wind and earthquake conforming to the geographics, meteorologic and construction conditions in Thailand. The equivalent static loading can be use for structural analysis more convenience by static method instead of the dynamic one which take more time and complication. The study has categorized the building structure in two groups ; lowrise building of maximum storey at 10 and highrise building of 3 sub-groups of 20, 30 and 40 stories.

Dynamic characteristics by means of natural frequency and period of the structures have been determined with principal parameters of building height and structural stiffness. Weight or mass of the structure are assumed to be uniformed and equal lumped trough-out building height.

Period of the structure has found to be more influenced by building height then the structure stiffness. Structural period can be estimated by rule of thumb as 0.010 sec/floor or 0.028 sec/meter, or by more accurate formula as $T = 0.034\ H^{0.96}$ where T = structural period (sec.) and H = building height (meter). The lateral stiffness of structure as ratio of shearwall to frame has found to have minor influence on the structural period. However, they may be taken into consideration by factors as proposed.

Development of wind load model has employed the wind speed spectrum proposed by Hino [5] to study structural response in Thailand under dynamic character of structural periods as proposed. Gust factor can be determined in accordance with building height, force spectrum and wind pressure. The design chart for equivalent static force has been proposed in terms of building height and aspect ratio (b/H). The structural responses as lateral drift, base shear and maximum moment have been compared between the static and dynamic analysis. The results have shown that the response agree well in each cases expect the building of 40 stories show large discripency for flexure up to 20 %

Earthquake load model has adopted earthquake spectrum developed by Noppadon [14] to normalize acceleration spectrum comprising with dynamic characteristic of structural period, then the design charts and equivalent static can be determined. To evaluate the structural responses, both static and dynamic analysis has carried out. The result has shown that all cases are well agree, but the 40 stories building may require sophisticate dynamic analysis since flexure and shear have exceed 15% tolerance.

Force models for wind and earthquake in Thailand can be proposed for Building Control Regulation to be used accurately and safely for buildings less than 40 stories height.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

การที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์ขึ้นมาได้นั้น ผู้เขียนต้องขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ให้แนวทาง และคำแนะนำตลอดระยะเวลาการทำวิจัย นอกจากนั้น ผู้เขียนต้องขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล และ อาจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุสม คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ตลอดการวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติ พี่ น้อง ทุกคน ผู้ให้กำลังใจผู้เขียนตลอดมา คุณอุทัย ฤกษ์ศิริรัตน์ ที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งเพื่อน ๆ วิศวกรรมศาสตร์ รุ่น 73 ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียน จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ธนากร จงวิลาสลักษณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ญ
สัญญลักษณ์..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความนำ 1
1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา 2
1.2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับแรงลม 2
1.2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับแรงแผ่นดินไหว 5
1.3 เป้าหมายในการวิจัย 7
1.4 แนวทางในการดำเนินงานวิจัย 7
1.5 ขอบข่ายการศึกษา 8
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 พลศาสตร์ของโครงสร้าง 9
2.1.1 แรงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา 9
2.1.2 น้ำหนักของโครงสร้าง 12
2.1.3 การจำลองการตอบสนองทางโครงสร้าง 12
2.1.4 สมการการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง 13
2.1.5 คาบของโครงสร้าง.....17
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงลม 19
2.2.1 ทฤษฎีการไหลของลม 20
2.2.2 การตรวจวัดความเร็วลม 22
2.2.3 ค่าความเร็วลมสูงสุดสำหรับออกแบบและแผนที่ความเร็วลม 23
2.2.4 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยตามความสูง ($\overline{U}(z)$) 24
2.2.5 สัมประสิทธิ์ของความเร็วลม 29

หน้า

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงแผ่นดินไหว 29
2.3.1 กลไกการเกิดแผ่นดินไหว 29
2.3.2 การวัดขนาดของแผ่นดินไหว 30
2.3.3 ค่าอัตราเร่งสูงสุดและแผนที่ความเร่งสูงสุด 31
2.3.3.1 แบบจำลองหาอัตราเร่งที่ลดลงตามระยะทาง 31
2.3.3.2 ความถี่ของการเกิดแผ่นดินไหวและการวิเคราะห์ความถดถอย 33
2.3.3.3 ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินไหว 33
2.3.3.4 การหาค่าอัตราเร่งสูงสุด 36
2.4 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีพลศาสตร์ 36
2.4.1 การหาค่าแรงลมเพื่อใช้คำนวณโดยวิธีพลศาสตร์ 36
2.4.2 แรงแผ่นดินไหวเพื่อใช้ในการคำนวณโดยวิธีพลศาสตร์ 40
บทที่ 3 ผลกระทบของสติฟเนสขององค์อาคารต่อคาบของโครงสร้าง 42
3.1 การหาคาบทางโครงสร้าง 42
3.2 อิทธิพลของความสูง 48
3.3 ความสัมพันธ์ของลักษณะสติฟเนสของ เสา คาน ผนังแรงเฉือนกับคาบของโครงสร้าง 50
3.4 การหาคาบอย่างง่าย 55
บทที่ 4 การพัฒนาวิธีการออกแบบต้านทานแรงลมโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 61
4.1 แรงลมและผลการกรรโชก.....61
4.2 ค่าสเปกตรัมความเร็วลมที่นำมาใช้ในการพัฒนาวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 62
4.3 การพัฒนาค่าตัวประกอบการกรรโชก 69
4.4 ผลการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยวิธีพลศาสตร์ 81
บทที่ 5 การพัฒนาวิธีการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 92
5.1 บทนำ 92
5.2 แบบจำลองสำหรับคำนวณหาแรงแผ่นดินไหวโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 93
5.3 ผลการเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยวิธีพลศาสตร์ 98
บทที่ 6 บทสรุป 111
รายการอ้างอิง.....113
ภาคผนวก.....116
ประวัติผู้ศึกษา.....122

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงการแบ่งลักษณะความขรุขระของสภาพภูมิประเทศ, ค่าความสูงเกรเดียนท์ และค่าตัวเลขยกกำลัง.....28
ตารางที่ 3.1 แสดงความคลาดเคลื่อนของคาบที่คำนวณจากการประมาณด้วยความสูง 50
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าสติฟเนสของโครงสร้าง 51
ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบคาบที่ได้จากการประมาณกับคาบที่ได้จากวิธีพลศาสตร์ 57
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเปลี่ยนแปลงของตัวประกอบการกรรโชกเมื่อคาบเปลี่ยนไป 83
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงเฉือนตอบสนองสูงสุดที่ฐานของโครงสร้าง 84
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าโมเมนต์ที่ฐานของโครงสร้าง 85
ตารางที่ 4.4 แสดงระยะการเคลื่อนตัวตอบสนองที่ชั้นบนสุดของโครงสร้าง 86
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าตอบสนองของโครงสร้าง 7 ชั้น 101
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าความเร็วสำหรับออกแบบเมื่อคาบเปลี่ยนไป 102
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าแรงเฉือนที่ฐานของโครงสร้าง 103
ตารางที่ 5.4 แสดงค่าโมเมนต์ที่ฐานของโครงสร้าง 104
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าการเคลื่อนตัวตอบสนองสูงสุดที่ชั้นบนสุดของโครงสร้าง 105

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างลักษณะแรงทางพลศาสตร์ 10
รูปที่ 2.2 คานที่รับแรงกระทำแบบพลศาสตร์ 11
รูปที่ 2.3 การพิจารณามวลเป็นจุด 11
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของคาน 13
รูปที่ 2.5 การจำลองแบบโครงสร้างทางพลศาสตร์.....13
รูปที่ 2.6 การไหลของลมผ่านพื้นที่ ๆ แตกต่างกัน ..... .20
รูปที่ 2.7 แนวการไหลของลมเมื่อปะทะกับสิ่งกีดขวาง 21
รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างข้อมูลความเร็วลม 25
รูปที่ 2.9 แสดงค่าความเร็วลมเกรเดียนท์เฉลี่ยหนึ่งชั่วโมงสำหรับออกแบบ ที่คาบการกลับ 50 ปี
.....26
รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงตำแหน่งและขนาดของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 80 ปี
(ค.ศ. 1910 – 1989) 34
รูปที่ 2.11 แผนที่แสดงเส้นชั้นอัตราเร่งของค่าอัตราเร่งสูงสุดบวกค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน.....35
รูปที่ 3.1 รูปแปลนอาคาร โครงสร้างสูง 10 ชั้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ 44
รูปที่ 3.2 รูปแปลนอาคาร โครงสร้างสูง 20 ชั้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ 45
รูปที่ 3.3 รูปแปลนอาคาร โครงสร้างสูง 30 ชั้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ 46
รูปที่ 3.4 รูปแปลนอาคาร โครงสร้างสูง 40 ชั้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ 47
รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ของคาบกับความสูงของโครงสร้าง 48
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบสำหรับโครงสร้าง 10 ชั้น 51
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบสำหรับโครงสร้าง 20 ชั้น 52
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบสำหรับโครงสร้าง 30 ชั้น 52
รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ของสติฟเนสกับคาบสำหรับโครงสร้าง 40 ชั้น 53
รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มสติฟเนสกับสัดส่วนของคาบ 54
รูปที่ 3.11 การประมาณคาบของโครงสร้างด้วยความสูง 58
รูปที่ 3.12 การประมาณค่าสัดส่วนของคาบ $\frac{T}{T_{s100}}$ ด้วยสัดส่วนสติฟเนส 59
รูปที่ 3.13 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการประมาณคาบโครงสร้าง 60
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากกฎยกกำลังกับสูตรลอการิทึมสำหรับสภาพ
ภูมิประเทศแบบเปิดโล่ง 62

หน้า

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมความเร็วลม 64
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่วิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมของญี่ปุ่นกับ สเปกตรัมของฮ่องกง สำหรับโครงสร้าง 10 ชั้น 65
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่วิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมของญี่ปุ่นกับ สเปกตรัมของฮ่องกง สำหรับโครงสร้าง 20 ชั้น 66
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่วิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมของญี่ปุ่นกับ สเปกตรัมของฮ่องกง สำหรับโครงสร้าง 30 ชั้น 67
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่วิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมของญี่ปุ่นกับ สเปกตรัมของฮ่องกง สำหรับโครงสร้าง 40 ชั้น 68
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าตัวประกอบ B 78
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าตัวประกอบ S 79
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าตัวประกอบ F 80
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่วิเคราห์ด้วยวิธีพลศาสตร์กับวิธีแรงสถิต เทียบเท่า สำหรับโครงสร้าง 10 ชั้น 87
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่วิเคราห์ด้วยวิธีพลศาสตร์กับวิธีแรงสถิต เทียบเท่า สำหรับโครงสร้าง 20 ชั้น 88
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่วิเคราห์ด้วยวิธีพลศาสตร์กับวิธีแรงสถิต เทียบเท่า สำหรับโครงสร้าง 30 ชั้น 89
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างที่วิเคราห์ด้วยวิธีพลศาสตร์กับวิธีแรงสถิต เทียบเท่า สำหรับโครงสร้าง 40 ชั้น 90
รูปที่ 4.14 แผนภูมิแสดงการคำนวณหาค่าแรงลมโดยวิธีแรงสถิตเทียบเท่า 91
รูปที่ 5.1 สเปกตรัมการตอบสนองของความเร่ง 94
รูปที่ 5.2 กราฟค่าความเร่งตอบสนองปกติ (Normalized acceleration response spectrum) สำหรับนำไปใช้ในการออกแบบ 95
รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบสูตรสัมประสิทธิ์แรงแผ่นดินไหวที่เสนอแนะกับค่าความเร่งตอบสนอง ปกติ 96
รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะโครงสร้างอาคาร 7 ชั้น 101
รูปที่ 5.5 แสดงระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวสำหรับโครงสร้าง อาคาร 10 ชั้น 106
รูปที่ 5.6 แสดงระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวสำหรับโครงสร้าง อาคาร 20 ชั้น 107

หน้า

รูปที่ 5.7 แสดงระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวสำหรับโครงสร้าง
อาคาร 30 ชั้น 108
รูปที่ 5.8 แสดงระยะการเคลื่อนตัวในแนวราบเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวสำหรับโครงสร้าง
อาคาร 40 ชั้น 109
รูปที่ 5.9 แผนภูมิแสดงการคำนวณหาแรงจากแผ่นดินไหวโดยวิธีสถิตเทียบเท่า 110

สัญญลักษณ์

a = อัตราเร่งแผ่นดินไหว

A = พื้นที่ๆรับแรง

B = ค่าตัวประกอบในกราฟรูปที่ 4.7

C_D = สัมบ่ระสิทธ์ของแรงลม

F = ตัวประกอบ ในกราฟรูปที่ 4.9

G = ตัวประกอบการกรรโชก

g = ค่าตัวประกอบสูงสุด

H = ความสูงที่ชั้นบนสุด

H(f) = ส่วนขยายทางกลศาสตร์ของระบบ

K = สติฟเนสของโครงสร้าง

k = สัมประสิทธิ์ของลม

M = ขนาดของแผ่นดินไหว

m = มวลของระบบ

n = ความถี่ของลม

n_0, f_0 = ความถี่ธรรมชาติ

P = หน่วยแรงลม

S = ค่าตัวประกอบในกราฟรูปที่ 4.8

S(n) = สเปกตรัมความเร็วลม

S_y = สเปกตรัมการตอบสนองของแรงลม

U = ความเร็วลม

$\overline{U}(z)$ = ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง z

U_* = ความเร็วลมของการเฉือน

W = น้ำหนักของโครงสร้าง

Y, y = การเคลื่อนตัวตอบสนองของโครงสร้าง

z = ความสูง

z_g = ความสูงเกรเดียนท์

z_0 = ระยะความขรุขระบนผิวโลก

μ = รูปร่างการเคลื่อนตัว

ξ = อัตราส่วนความสูง

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

α = ค่ายกกำลัง

ω = ความถี่เชิงมุม

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน