การกระจายที่เหมาะสมของสติฟเนสของอาคารสูงรับแรงด้านข้างโดยหลักการกระจายพลังงาน

นายอภิรักษ์ มานะกิจศิรสุทธิ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา พ.ศ. 2540
ISBN 974-638-680-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19053769 ... 6 มี.ค. 2545

ต้นฉบับไม่มีหน้านี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

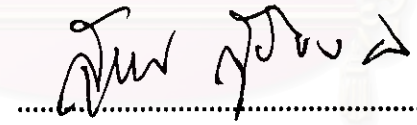
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกระจายที่เหมาะสมของสติฟเนสของอาคารสูงรับแรงด้านข้างโดยหลักการกระจายพลังงาน
โดย	นายอภิรักษ์ มานะกิจศิริสุทธิ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุสม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

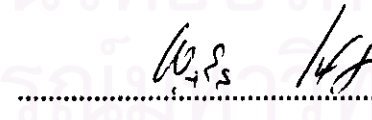
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



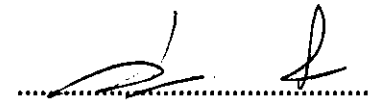
..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุสม)



..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อภิรักษ์ มานะกิจศิริสุทธิ : การกระจายที่เหมาะสมของสติฟเนสของอาคารสูงรับแรงด้านข้างโดยหลักการกระจายพลังงาน (OPTIMAL STIFFNESS DISTRIBUTION OF MULTI-STORY BUILDINGS SUBJECTED TO LATERAL LOADS BY ENERGY DISTRIBUTION METHOD) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ชูลศักดิ์ เพียรสุสม , 97 หน้า. ISBN 974-638-680-8

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการกระจายที่เหมาะสมของค่าสติฟเนสของโครงสร้างข้อแข็ง ที่มีแรงด้านข้างที่กระทำต่อโครงสร้างโดยการกระจายพลังงานในรูปแบบต่างๆ และศึกษาเปรียบเทียบผลตอบสนอง(การเคลื่อนที่ในแนวราบ) ที่ชั้นบนสุดของโครงสร้างก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนค่าสติฟเนสของโครงสร้างเนื่องจากการใช้หลักการกระจายพลังงาน

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจาก การกระจายพลังงานในรูปแบบต่างๆ เข้าสู่โครงสร้างเริ่มต้นที่ได้จากการออกแบบรับน้ำหนักในแนวดิ่ง จะได้ลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจากค่าลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ชั้นบนสุดมีค่าต่ำสุด โดยที่ค่าลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ชั้นล่างสุดมีค่าเท่ากัน จากนั้นใช้ ลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ได้ มากำหนดค่าสติฟเนสเหมาะสมของโครงสร้างข้อแข็ง โดยการแก้สมการปัญหาค่าเฉพาะ โดยวิธีกำลังสองน้อยสุด โครงสร้างที่ได้นี้คือโครงสร้างเหมาะสม จากนั้นจึงปรับโครงสร้างเหมาะสมให้เป็นโครงสร้างทางปฏิบัติ โดยการปรับเปลี่ยนเฉพาะค่าสติฟเนสของเสา และคงค่าสติฟเนสของคานให้เท่ากับโครงสร้างเริ่มต้น แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองของโครงสร้างข้อแข็งภายใต้แรงลมและแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างเริ่มต้น โครงสร้างเหมาะสม และ โครงสร้างทางปฏิบัติ โดยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นด้วยวิธีการอินทิเกรททีละขั้น

ผลการวิเคราะห์ โครงสร้างข้อแข็งที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ประกอบด้วย โครงสร้างอาคาร 4 ชั้น 10 ชั้น และ 20 ชั้น พบว่า การกระจายพลังงานเข้าสู่โครงสร้าง ในรูปแบบของพลังงานมากในชั้นล่าง ไปหาน้อยในชั้นบนจะให้ลักษณะรูปร่างการสั่นไหวเหมาะสมที่สุด ผลการกำหนดค่าสติฟเนสพบว่า โครงสร้างเหมาะสมจะมีการกระจายค่าสติฟเนสของเสาน้อยลงในชั้นที่ 1 และมากขึ้นในชั้นบน เมื่อเทียบกับโครงสร้างเริ่มต้น และยังพบว่ามีค่าสติฟเนสของคานเป็นลบในอาคาร 10 ชั้น และ 20 ชั้น ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ได้ในทางปฏิบัติ ผลการวิเคราะห์การตอบสนองแบบเชิงเส้นที่ชั้นบนสุดของโครงสร้างภายใต้แรงลมพบว่า โครงสร้างเหมาะสมให้พฤติกรรมการตอบสนองดีขึ้นพอสมควร เมื่อเทียบกับโครงสร้างเริ่มต้น ส่วนผลการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวพบว่า โครงสร้างเหมาะสมให้พฤติกรรมตอบสนองดีกว่าโครงสร้างเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย ในการตรวจสอบสภาพไม่เชิงเส้นพบว่า เกิดเฉพาะกรณีศึกษาของอาคาร 10 ชั้นรับแรงแผ่นดินไหวเท่านั้น ซึ่งพบว่าโครงสร้างเหมาะสมให้พฤติกรรมการตอบสนองดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับโครงสร้างเริ่มต้น แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้นของโครงสร้างอาคาร 10 ชั้น ข้างต้น พบว่าโครงสร้างทางปฏิบัติให้ผลตอบสนองที่แตกต่างจากโครงสร้างเริ่มต้นเพียงเล็กน้อยจนไม่มีนัยสำคัญ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C715023 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: OPTIMAL STIFFNESS / ENERGY DISTRIBUTION / MULTI-STORY BUILDINGS

APIRAK MANAKIJSIRISUTHI: OPTIMAL STIFFNESS DISTRIBUTION OF MULTI-STORY BUILDINGS SUBJECTED TO LATERAL LOADS BY ENERGY METHOD.
THESIS ADVISOR : ASSIT. PROF. PHOONSAK PHEINSUSOM , Ph.D. 97 pp.
ISBN 974-638-680-8

The objectives of this thesis are to study the optimal stiffness distribution of rigid frame buildings subjected to lateral loads by energy distribution method and to compare the top story response (horizontal displacement) before and after stiffness adjustment due to energy distribution method.

When we distribute energy to the initial structures which obtained from vertical loads design, we obtain optimal mode shape which has minimum top story mode shape when the first story of optimal mode shape is equal to the first story of other mode shapes from energy distributions. We use this optimal mode shape to determine the optimal stiffness from the eigenvalue problem by least squares method. The structures which have optimal stiffness are the optimal structures. We adjust the optimal structures to the practice structures by only adjust column stiffness and remain beam stiffness as the initial structures. The linear and nonlinear behaviour of the initial, optimal and practice structures subjected to wind and earthquake loads are analyzed by step by step time integration method.

The results from the case study of 4, 10 and 20 story-buildings are found that when we distribute energy to the structure in form of high energy at the bottom to low energy at the top of the structure gives the best optimal mode shape. The optimal structure has less column stiffness at the first story and more column stiffness at the upper story comparing to the initial structure and there is negative beam stiffness in 10 and 20 story-buildings which can not be possible in practice. The top story linear responses due to wind load are found that the optimal structures give fairly better response than the initial structures. The top story linear responses due to earthquake are found that the optimal structures give a little better response than the initial structures. The nonlinear behaviour is only found in case study of 10 story-building subjected to earthquake. The nonlinear result is shown that the optimal structure gives better response than the initial structure. However, from the above linear and nonlinear analysis of the 10 story-building under wind and earthquake loads, the practice structures give no significantly different response from the initial structures.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต อภิรักษ์ ศรีสุขสุทธิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พูนศักดิ์ ไพเราะ
ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูลศักดิ์ เพียรสุสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ ข้อแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.ชัชชาติ สิทธิพันธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้คอมพิวเตอร์ ในการประมวลผลวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณ คุณกรรณิกา จิตต์ชอบธรรม ที่ช่วยสละเวลาในการพิมพ์และตรวจสอบการพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้เขียนใคร่แสดงความสำนึกในพระคุณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งให้โอกาสแก่ผู้เขียนได้ศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

ท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ช่วยสนับสนุนผู้เขียนในทุก ๆ ด้านเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูป.....ญ
สัญลักษณ์.....ฏ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความนำ.....1
1.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....2
1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย.....4
1.4 สมมติฐานที่ใช้และขอบเขตการศึกษา.....4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างการสั่นไหว.....6
2.2 หลักการกระจายพลังงาน.....13
2.3 การกำหนดค่าสติฟเนสของโครงสร้างจากลักษณะรูปร่าง การสั่นไหว.....15
2.4 การหาผลตอบสนองของโครงสร้างภายใต้แรงที่แปรผันตามเวลา ในสมการการเคลื่อนที่โดยวิธีอินทิเกรททีละขั้น.....20
บทที่ 3 แรงด้านข้างที่กระทำต่อโครงสร้าง
3.1 ลมและธรรมชาติของลม.....24
3.2 สเปกตรัมของความเร็วลม.....31
3.3 การเปลี่ยนฟังก์ชันความถี่ของความเร็วลมเป็นฟังก์ชันของเวลา.....32
3.4 แผ่นดินไหวและการจำลองคลื่นแผ่นดินไหว.....34

หน้า

บทที่ 4 ขั้นตอนการศึกษาและกรณีศึกษา

4.1 ขั้นตอนในการศึกษา.....36

4.2 กรณีศึกษา.....39

บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์

5.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างการสั่นไหวของโครงสร้าง โดยหลักการกระจายพลังงาน.....46

5.2 ผลการกำหนดค่าสติฟเนสของโครงสร้างจาก ลักษณะรูปร่างการสั่นไหว.....46

5.3 ผลการวิเคราะห์ผลตอบสนองแบบเชิงเส้นของโครงสร้าง เนื่องจากแรงลม.....50

5.4 ผลการวิเคราะห์ผลตอบสนองแบบเชิงเส้นของโครงสร้าง เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....53

5.5 ผลการวิเคราะห์ผลตอบสนองแบบไม่เชิงเส้นของโครงสร้าง เนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....55

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย.....58

6.2 ข้อเสนอแนะ.....59

รายการอ้างอิง

ภาคผนวก ก.1 คุณสมบัติเชิงตั้งฉาก

ก.2 ผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่ที่มีดีกรีความอิสระเดี่ยว

ข. ค่าสติฟเนสของโครงสร้าง

ค. วิธีการรวบโครงสร้างหลายช่วงให้เป็นโครงสร้างทดแทน (Substitute frame) และวิธีการรวบโครงสร้างในแนวดิ่ง

ง. รูปแสดงการตอบสนองของโครงสร้างต่อแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

ประวัติผู้เขียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 องค์อาคารเมื่อรับแรงภายนอก.....6

รูปที่ 2.2 การกระจายพลังงานเข้าสู่โครงสร้าง.....13

รูปที่ 2.3 วิธีการวิธีกำลังสองน้อยสุด.....17

รูปที่ 2.4 ระบบสมการการเคลื่อนที่ที่มีดีกรีความอิสระเดี่ยว.....21

รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงอัตราเร่ง ความเร็ว และการเคลื่อนที่.....21

รูปที่ 3.1 การกระจายความเร็วลมเฉลี่ยตามระดับความสูง ในสภาพภูมิประเทศแบบต่าง ๆ.....24

รูปที่ 3.2 การแปรเปลี่ยนความเร็วลมตามเวลา.....25

รูปที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดัน C_p และแสดงการกระจายหน่วยแรงดันลม ที่กระทำต่ออาคารตามระดับความสูง.....30

รูปที่ 3.4 สเปกตรัมของความเร็วลม.....31

รูปที่ 3.5 สาเหตุการเกิดแผ่นดินไหว.....34

รูปที่ 3.6 แบบจำลองคลื่นแผ่นดินไหว.....35

รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย.....38

รูปที่ 4.2 รูปแบบสภาพไม่เชิงเส้น (Nonlinear model).....41

รูปที่ 4.3 รูปฝังอาคาร 4ชั้น 10ชั้น และ 20 ชั้น.....41

รูปที่ 4.4 รูปอาคาร 4 ชั้น.....42

รูปที่ 4.5 รูปอาคาร 10 ชั้น.....43

รูปที่ 4.6 รูปอาคาร 20 ชั้น.....44

รูปที่ 4.7 การกระจายพลังงานสู่อาคาร 4 ชั้น.....45

รูปที่ 4.8 การกระจายพลังงานสู่อาคาร 10 ชั้น.....45

รูปที่ 4.9 การกระจายพลังงานสู่อาคาร 20 ชั้น.....45

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 การแบ่งลักษณะความขรุขระของสภาพภูมิประเทศ ค่าความสูงเกรเดียนท์และค่าตัวเลขยกกำลัง.....27
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์โดยทั่วไปของสภาพภูมิประเทศและ ความยาวขรุขระ.....30
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของโครงสร้างเริ่มต้นของอาคาร 4 ชั้น 10 ชั้น และ20 ชั้น...39
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของโครงสร้างอาคาร 10 และ 20 ชั้น หลังการรวบโครงสร้าง.....40
ตารางที่ 5.1 ลักษณะรูปร่างชั้นบนสุดของโครงสร้าง โดยการใช้หลักการพลังงาน...47
ตารางที่ 5.2 (ก) ค่าสติฟเนสของเสาของโครงสร้างเริ่มต้นและโครงสร้างทางปฏิบัติของ อาคาร 4 ชั้น 48
ตารางที่ 5.2 (ข) ค่าสติฟเนสของเสาของโครงสร้างเริ่มต้นและโครงสร้างทางปฏิบัติของ อาคาร 10 ชั้น 48
ตารางที่ 5.2 (ค) ค่าสติฟเนสของเสาของโครงสร้างเริ่มต้นและโครงสร้างทางปฏิบัติของ อาคาร 20 ชั้น 49
ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นเนื่องจากแรงลม.....51
ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....54
ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว.....56

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์

a_i = ค่าอัตราส่วนของแรงภายนอกที่ชั้นที่ i ของโครงสร้างต่อแรงภายนอกที่ชั้นที่1

b_i = ค่าอัตราส่วนของพลังงานที่เข้าสู่โครงสร้างชั้นที่ i ต่อพลังงานทั้งหมด

$\mathbf{C}$ = เมทริกซ์ของความหน่วง

c_s^* = ความหน่วงทั่วไปในลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ s

C_e = ตัวประกอบสภาพภูมิประเทศ

C_g = ตัวประกอบผลกรรโชก

C_p = สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดัน

D_s = ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดของโครงสร้าง

$\mathbf{e}$ = เวคเตอร์ของความผิดพลาด

E_i = พลังงานที่เข้าสู่โครงสร้างชั้นที่ i

E = พลังงานทั้งหมดที่เข้าสู่โครงสร้าง

f = ความถี่ลดรูป

g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก

I_b, I_c = ค่าสติฟเนสของคานและเสา

$\mathbf{K}$ = เมทริกซ์สติฟเนสของโครงสร้าง

k_s^* = ค่าสติฟเนสทั่วไปในลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ s

$\mathbf{M}$ = เมทริกซ์ของมวล

m_s^* = ค่ามวลโดยทั่วไปในลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ s

$\mathbf{P}$ = เวคเตอร์ของแรงภายนอก

p_i = ค่าแรงภายนอกที่ชั้นที่ i ของโครงสร้าง

p_s^* = ค่าแรงภายนอกทั่วไปในลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ s

S(z, n) = สเปกตรัมของความเร็วลมที่ความสูง z เมตร ที่ความถี่ n

S.D. = ค่าการเบี่ยงเบนของโครงสร้าง

$\mathbf{U}$ = เวคเตอร์การเคลื่อนที่ของโครงสร้าง

$\dot{\mathbf{U}}$ = เวคเตอร์ความเร็วของโครงสร้าง

$\ddot{\mathbf{U}}$ = เวคเตอร์ความเร่งของโครงสร้าง

$\tilde{U}$ = ค่าการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยของโครงสร้าง

$V(z,t)$ = ความเร็วลมที่ความสูง z เมตร ณ เวลา t

V_* = Friction velocity

V_g = ความเร็วเกรเดียนท์

$\mathbf{Y}$ = เวคเตอร์ค่าพิกัดทั่วไปของโครงสร้าง

y_s = ค่าพิกัดทั่วไปของโครงสร้างในลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ s

Z_g = ความสูงเกรเดียนท์

α = ค่าคงที่ ที่ขึ้นกับสภาพภูมิประเทศ

$\mathbf{\Phi}$ = เมทริกซ์ของลักษณะรูปร่างการสั่นไหว

$\boldsymbol{\phi}_s$ = เวคเตอร์ของลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ s

$\phi_{i,s}$ = ค่าลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ s ของโครงสร้างชั้นที่ i

ϕ_i = ค่าลักษณะรูปร่างการสั่นไหวของโครงสร้างชั้นที่ i

ω = ความถี่ของแรงภายนอก

ω_s = ความถี่ของโครงสร้างในลักษณะรูปร่างการสั่นไหวที่ s

ξ = อัตราส่วนความหน่วง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย