ผลตอบสนองของอาคารต่อแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร

นายสมชาย สุนทรวีระ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2534

ISBN 974-579-591-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017996 i10313849

RESPONSE OF BUILDINGS TO EARTHQUAKES IN BANGKOK METROPOLITAN AREA

Mr.Somchai Soontornveera

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1991

ISBN 974-579-591-7

พอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลตอบสนองของอาคารต่อแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร
โดย	นายสมชาย สุนทรวีระ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

_____ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____ ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

_____ กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

_____ กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ)

_____ กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สมชาย สุนทรวีระ : ผลตอบสนองของอาคารต่อแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานคร
(RESPONSE OF BUILDINGS TO EARTHQUAKES IN BANGKOK METROPOLITAN AREA)
อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, 104 หน้า ISBN 974-579-591-7

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลตอบสนองของอาคารต่อแผ่นดินไหวในเขตกรุงเทพมหานครที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้การกระทำของแผ่นดินไหวโดยใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์สองทฤษฎี คือ ทฤษฎีสถิตศาสตร์ (Statics) และทฤษฎีพลศาสตร์ (Dynamics) การวิเคราะห์โครงสร้างในงานวิจัยนี้ใช้วิธีอินติเกรตโดยตรง (Direct Integration Method) วิธีค่าสูงสุดของการตอบสนอง (Response Spectrum) และวิธีแรงสถิตศาสตร์เทียบเท่า (Equivalent Static Force Method) ตามหลักการของ UBC ในการวิเคราะห์โดยวิธีอินติเกรตโดยตรงใช้ข้อมูลแผ่นดินไหวที่ได้จำลองโดยอาศัยค่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่มากที่สุดในเอกสารอ้างอิงที่ (19) ของกรมอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี พ.ศ. 2455 ถึง พ.ศ. 2532 โดยมีค่าความเร่งสูงสุดที่ระดับผิวดินเท่ากับ 0.058g เมตร/วินาที^{2} ส่วนการวิเคราะห์โดยวิธีค่าสูงสุดของการตอบสนองใช้กราฟค่าสูงสุดของการตอบสนองในเอกสารอ้างอิงที่ (18) ซึ่งได้จากข้อมูลแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นจริงในเขตกรุงเทพมหานคร

ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ได้นำหลักทฤษฎีพลศาสตร์มาประยุกต์กับไมโครคอมพิวเตอร์ และได้พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างระนาบ เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ใช้วิธีการทำซ้ำในสเปซย่อย (Subspace Iteration Method) ในการแก้ปัญหาเจาะจง (Eigenproblem) และใช้วิธี Square Root Sum Square เพื่อวิเคราะห์หาการตอบสนองของโครงสร้างโดยวิธีค่าสูงสุดของการตอบสนอง (Response Spectrum)

จากการศึกษาพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมที่ได้จากการวิจัย สามารถให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม ETABS ซึ่งใช้วิธี Root Mean Square พิจารณา 2 มิติ จะมีความคลาดเคลื่อนของระยะเอนด้านข้างและแรงภายใน ประมาณ 0.30 -- 7.89 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณา 3 มิติ จะมีความคลาดเคลื่อนสำหรับระยะเอนด้านข้างและแรงภายในในช่วง 0.10 – 17.80 เปอร์เซ็นต์ โดยการพิจารณาผลไม่เกิน 3 โหมด ผลการเปรียบเทียบผลการตอบสนอง ซึ่งพิจารณาผลการรวมโหมดพบว่าการรวมโหมด 3 โหมดจะมีความถูกต้องมากเพียงพอ

นอกจากนี้สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 7, 15 ชั้น ผลการวิเคราะห์โดยวิธีสถิตศาสตร์เทียบเท่าตามวิธีของ UBC โดยให้กรุงเทพอยู่ในโซน 1 จะให้ค่าการตอบสนองที่มากกว่าวิธีค่าสูงสุดของการตอบสนอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต สมชาย สุนทรวีระ

สาขาวิชา วิศวกรรมโครงสร้าง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

SOMCHAI SOONTORNVEERA : RESPONSE OF BUILDINGS TO EARTHQUAKES IN BANGKOK METHOPOLITAN AREA. THESIS ADVISOR : PROF.THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D., 104 pp. ISBN 974-579-591-7

The research presents a comparison study of the response of buildings to earthquake in Bangkok Metropolitan area. Two theories, statics and dynamics were employed to obtain the structural response. Direct Integration method, Response Spectrum method and Equivalent Static Force method were used in this research. By Direct Intergration method : earthquake data was simulated by using maximum earthquake intensity data recorded by Meteorological Department during 1912 - 1989 in Bangkok Metropolitan area. The maximum earthquake accleration was 0.058g m/s^2. By Response Spectrum method : response spectrum data was obtained by using real earthquake data which affects Bangkok Metropolitan area.

In analysing the results, a dynamic plane frame analysis program was written for microcomputer in order to expedite the analysis. The method of subspace iteration was employed to obtain mode shapes and periods of structures in solving the eigenproblem. The structural responses were calculated using response spectrum method by Square Root Sum Square.

It has been shown that the program in this research can give satisfactory results. Horizontal deflections and internal forces obtained have discrepanay about 0.30 - 7.89 percent compare with those obtained from program ETABS in 2 dimension.

It was found that for a 7, 15 story reinforced concrete building the structural responses calculated by Equivalent Static Force method in UBC code with Zone 1 yielded conservative results compared to those calculated by Response Spectrum method.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต สมชาย สุนทรีวีระ

สาขาวิชา วิศวกรรมโครงสร้าง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ให้ความกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.การุญ จันทรางศุ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และ ให้กำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตารางประกอบ.....ฌ
สารบัญรูปประกอบ.....ฎ
สัญลักษณ์.....ฐ
บทที่
1 บทนำ.....1
1.1 ความนำ.....1
1.2 ความเป็นมาของปัญหาในการวิจัย.....1
1.3 ภูมิหลังงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....2
1.4 วัตถุประสงค์.....4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....4
1.6 สมมุติฐาน.....5
2 การวิเคราะห์ข้อมูลแผ่นดินไหว.....6
2.1 ความนำ.....6
2.2 ขนาดของแผ่นดินไหว.....6
2.3 ระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว.....6
2.4 การจำลองแผ่นดินไหว.....7
2.5 การเลือกรูปร่างของแผ่นดินไหว.....8
2.6 ข้อมูลแผ่นดินไหวจากการจำลอง.....8
3 การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์.....9
3.1 ความนำ.....9
3.2 วิธีอินติเกรตโดยตรง.....9
3.3 วิธีการรวมโหมด.....10
3.4 วิธีค่าสูงสุดของการตอบสนอง.....12

3.5 วิธีสถิตศาสตร์เทียบเท่าตามวิธีของUBC.....14
3.6 วิธีทำซ้ำในสเปซย่อย.....17
3.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์.....18
4 ตัวอย่างการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล.....19
4.1 ความนำ.....19
4.2 ตัวอย่างที่ 1.....19
4.2 ตัวอย่างที่ 2.....21
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....23
5.1 สรุปผลการวิจัย.....23
5.2 ข้อเสนอแนะ.....25
เอกสารอ้างอิง.....26
ตารางประกอบ.....28
รูปประกอบ.....62
ภาคผนวก.....93
ภาคผนวก ก การแสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูล.....94
ภาคผนวก ข เมตริกซ์สตีฟเนสของคานและเสาที่ใช้.....100
ประวัติ.....104

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวกับอัตราเร่งที่ผิวดิน.....29

3.1 ค่าของ Z 30

3.2 ค่าของ I 31

3.3 ค่าของ K 32

4.1 ขนาดของเสาและคานของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1 33

4.2 พื้นที่หน้าตัด โมเมนต์อินเนอร์เชียและมวลของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1.34

4.3 ข้อมูลสำหรับวิธีสถิตศาสตร์เทียบเท่า ของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1.35

4.4 ขนาดของเสาและคานของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2 36

4.5 พื้นที่หน้าตัดโมเมนต์อินเนอร์เชียและมวลของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2.37

4.6 ข้อมูลสำหรับวิธีสถิตศาสตร์เทียบเท่า ของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2.38

4.7 ค่าการสั่นไหวแบบอิสระของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1 39

4.8 ค่าการสั่นไหวแบบอิสระของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2 40

4.9 เปรียบเทียบระยะเอนด้านข้างของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1.....41

4.10 เปรียบเทียบแรงดัดที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1.....42

4.11 เปรียบเทียบแรงดัดที่สูงสุดในคานของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1.....43

4.12 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1.....44

4.13 เปรียบเทียบแรงในแนวแกนที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1.45

4.14 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐาน (ตัวอย่างที่ 1).....45

4.15 เปรียบเทียบระยะเอนด้านข้างของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น (2 มิติ).....46

4.16 เปรียบเทียบแรงดัดที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น (2 มิติ).....47

4.17 เปรียบเทียบแรงดัดที่สูงสุดในคานของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น (2 มิติ).....48

4.18 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น (2 มิติ).....49

4.19 เปรียบเทียบแรงในแนวแกนที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น (2 มิติ)....50

4.20 เปรียบเทียบระยะเอนด้านข้างของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2.....51

4.21 เปรียบเทียบแรงดัดที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2.....52

4.22 เปรียบเทียบแรงดัดที่สูงสุดในคานของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2.....53

4.23 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2....54

4.24 เปรียบเทียบแรงในแนวแกนที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2.55
4.25 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่ฐาน (ตัวอย่างที่ 2).....56
4.26 เปรียบเทียบระยะเอนด้านข้างของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น (2 มิติ).....57
4.27 เปรียบเทียบแรงดัดที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น (2 มิติ).....58
4.28 เปรียบเทียบแรงดัดที่สูงสุดในคานของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น (2 มิติ).....59
4.29 เปรียบเทียบแรงเฉือนที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น (2 มิติ).....60
4.30 เปรียบเทียบแรงในแนวแกนที่สูงสุดในเสาของโครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น (2 มิติ)...61

สารบัญรูปประกอบ

หน้า

รูปที่

2.1 กราฟแสดงค่าความเร่งสูงสุดของแผ่นดินไหวกับคาบการสั่นไหวธรรมชาติ จากเอกสารอ้างอิงที่ (14).....63

2.2 รูปแสดงลักษณะฟังก์ชั่นต่างๆของแผ่นดินไหวที่ใช้ในการจำลอง.....64

4.1 Acceleragram ของแผ่นดินไหวที่จำลองขึ้น มีความเร่งสูงสุด 0.058g m/s^2 ช่วงเวลา 12 วินาที จำนวน 10 ครั้ง 65

4.2 โครงข้อแข็งสูง 7 ชั้น ตัวอย่างที่ 1 68

4.3 โครงข้อแข็งสูง 15 ชั้น ตัวอย่างที่ 2 69

5.1 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแต่ละวิธีที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่ 1 70

5.2 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในเสาที่มากที่สุดในแต่ละวิธี ตัวอย่างที่ 1.....71

5.3 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในคานที่มากที่สุดในแต่ละวิธี ตัวอย่างที่ 1.....72

5.4 เปรียบเทียบค่าแรงเฉือนในเสาที่มากที่สุดในแต่ละวิธี ตัวอย่างที่ 1.....73

5.5 เปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกนของเสาที่มากที่สุดในแต่ละวิธี ตัวอย่างที่ 1.....74

5.6 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแต่ละโหมด ตัวอย่างที่ 1.....75

5.7 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 1.....76

5.8 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในคานที่มากที่สุด โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 1 77

5.9 เปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกนของเสาที่มากที่สุด โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 1 78

5.1 เปรียบเทียบค่าแรงเฉือนในเสาที่มากที่สุด โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 1 79

5.1 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในเสาที่มากที่สุด โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 1 80

5.1 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแต่ละวิธีที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 81

5.1 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในเสาที่มากที่สุดในแต่ละวิธี ตัวอย่างที่ 2.....82

5.1 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในคานที่มากที่สุดในแต่ละวิธี ตัวอย่างที่ 2.....83

5.1 เปรียบเทียบค่าแรงเฉือนในเสาที่มากที่สุดในแต่ละวิธี ตัวอย่างที่ 2.....84

5.1 เปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกนของเสาที่มากที่สุดในแต่ละวิธี ตัวอย่างที่ 2.....85

5.17 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแต่ละโหมด ตัวอย่างที่ 2.....86
5.18 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 2.....87
5.19 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในคานที่มากที่สุด โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 2 88
5.20 เปรียบเทียบค่าแรงในแนวแกนของเสาที่มากที่สุด โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 2 89
5.21 เปรียบเทียบค่าแรงเฉือนในเสาที่มากที่สุด โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 2 90
5.22 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในเสาที่มากที่สุด โดยวิธี Response Spectrum ตัวอย่างที่ 2 91
ข.1 ชิ้นส่วนคานและระดับขั้นความเสรี.....92
ข.2 ชิ้นส่วนเสาและระดับขั้นความเสรี.....92

สัญญาลักษณ์

$\underline{C}$	=	เมตริกซ์ของความหน่วง
$\underline{K}$	=	เมตริกซ์สตีฟเนสของโครงสร้าง
$\underline{M}$	=	เมตริกซ์ของมวล
$\underline{R}$	=	เวคเตอร์ของแรงกระทำภายนอก
S	=	จำนวนช่วงเวลาที่ทำการอินทิเกรต
T	=	เวลาที่มากที่สุดของการอินทิเกรต
t	=	เวลาใดๆ
Δt	=	ช่วงเวลาในการอินทิเกรต
$\underline{U}$	=	เวคเตอร์ของการเคลื่อนที่
$\dot{\underline{U}}$	=	เวคเตอร์ของความเร็ว
$\ddot{\underline{U}}$	=	เวคเตอร์ของความเร่ง
$\underline{U}o$	=	เวคเตอร์ของการเคลื่อนที่ที่ t = 0
$\dot{\underline{U}}o$	=	เวคเตอร์ของความเร็วที่ t = 0
$\ddot{\underline{U}}o$	=	เวคเตอร์ของความเร่งที่ t = 0
$\underline{\Phi}$	=	เมตริกซ์ของการแปลงเมตริกซ์
$\underline{\phi}$	=	เวคเตอร์ของรูปแบบของโหมด
$\underline{\Omega}$	=	เมตริกซ์ของค่าความถี่ของการสั่นไหวแบบอิสระ
ω	=	ค่าความถี่ของการสั่นไหวแบบอิสระ
ζ	=	อัตราการสูญเสียพลังงาน