

การวิเคราะห์อย่างง่ายเพื่อหาค่าการกระจายแรงกระทำด้านข้าง
สำหรับ โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า



นายบรรพต เจริญสัตยธรรม

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณมหาวทยาลัย

วิทยานพนนัเป็นส่วนหน่งของการศกษาตามหลักรัฐบัญญัติวศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควชวศกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณมหาวทยาลัย

พ.ศ. 2532

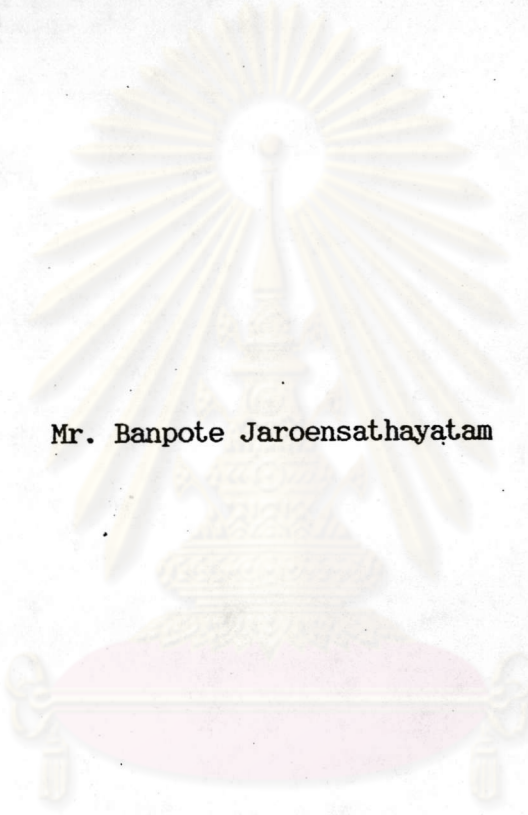
ISBN 974 - 576 - 092 - 7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวทยาลัย

0 15498

I16303650

A SIMPLIFIED ANALYSIS OF LATERAL LOAD DISTRIBUTION
IN RECTANGULAR FRAME TUBE



Mr. Banpote Jaroensathayatham

คุณย์วิทยทรัพย์ากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974 - 576 - 092 - 7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์อย่างง่ายเพื่อหาค่าการกระจายแรงกระทำด้านข้าง
สำหรับโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

โดย

นายบรรพต เจริญสัตยธรรม

ภาควิชา


วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

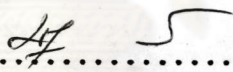
ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติวี

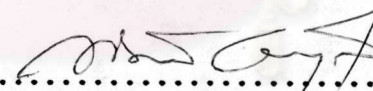


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

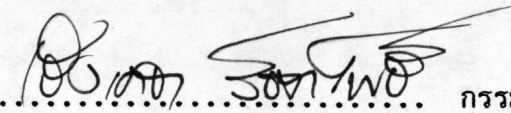

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วิชาภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติวี)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เริงเดชา รัชตโพธิ์)



บรรพต เจริญสัตยธรรม : การวิเคราะห์ห้อย่างง่ายเพื่อหาค่าการกระจายแรงกระทำด้านข้าง
สำหรับโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (A SIMPLIFIED ANALYSIS OF LATERAL LOAD
DISTRIBUTION IN RECTANGULAR FRAME TUBE) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี,
107 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ห้อย่างง่าย เพื่อหาค่าการกระจายแรงกระทำด้านข้าง
สำหรับโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่สามารถแปรเปลี่ยนขนาดตามความสูง รวมถึงแรงกระทำด้าน
ข้างที่มีลักษณะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ โดยสมมติให้การกระจายของแรงในโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยม
ผืนผ้า แทนด้วยแรงเดี่ยวกระทำเป็นจุดที่ชั้นยอดสุดรวมกับแรงกระจายในรูปโพลีโนเมียลอันดับต่าง ๆ
ตลอดความสูง ทั้งนี้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำด้านข้างที่ผ่านตำแหน่งศูนย์กลางกับการเคลื่อนที่ใน
แนวราบและแรงบิดกับมุมบิด

ความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นหาได้โดยวิธีการวัดต่อเนื่อง วิธีการนี้ขึ้นแรกแทนโครงสร้างดิสครีต
ด้วยกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก จากนั้นอาศัยการสมมติโหมดหลักของการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง
ทำให้สามารถหาพลังงานความเครียดที่เกิดขึ้นในรูปของการเคลื่อนที่ของกล่องในแนวแกน ในแนวราบ รวมถึง
มุมที่บิดไป จากนั้นจึงใช้กฎของพลังงานศักย์รวมน้อยที่สุด และวิธีการของริทซ์ ในการหาชุดของสมการ
พีชคณิตเพื่อหาค่าคงที่ที่ติดอยู่ในฟังก์ชันการเคลื่อนที่และมุมบิดที่สมมติขึ้น ก็จะได้ความสัมพันธ์ดังกล่าว โดย
อาศัยสมการสมดุลและสมการต่อเนื่องที่ระดับอ้างอิงใด ๆ ที่กำหนดไว้ จะได้สมการในรูปเมตริกซ์ซึ่งใช้หา
ค่าการกระจายแรงในโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้

วิธีการนี้ให้ค่าที่ถูกต้องพอสมควร เมื่อเทียบกับผลงานวิจัยของผู้อื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.....
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา.....
ปีการศึกษา2531.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....



BANPOTE JAROENSATHAYATAM : A SIMPLIFIED ANALYSIS OF LATERAL LOAD DISTRIBUTION IN RECTANGULAR FRAME TUBE. THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI. Ph.D. 107 PP.

This research presents a simplified analysis of lateral load for non-uniform frame tube. The analysis is also applicable to symmetrical and non-symmetrical lateral load. The load distribution on a frame tube is first assumed to be represented by a concentrated load at the top together with a distributed load, in the form of a polynomial, through out the height of the building. This first approximation is obtained by relating the deflection and rotation at any reference level to any particular lateral load component and torsional load component respectively.

The afore mentioned relationship may be obtained by employing a continuum approach. First the discrete structure is replaced by an equivalent orthotropic. By means of simplifying assumptions regarding the principle mode of deformation in the structure, the strain energy is expressed in terms of the warping displacement, lateral displacement and twisting angle. The principle of minimum potential energy and the Ritz method are then applied to yield a set of algebraic equations for determining the undetermined constants in the assumed displacement functions and twisting angle functions. By making use of the equilibrium and compatibility equations at any desired set of reference levels, the desired equations are found in matrix form and the loads on the frame tube together with the responses may be determined.

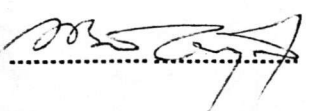
The results obtained from this method agree reasonably well with solutions obtained by other researchers.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร. การุญ จันทรางศุ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เรืองเดช รัชตโพธิ์ ที่ได้กรุณาแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย นอกเหนือจากรายนามที่กล่าวมา วิทยานิพนธ์นี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีถ้าหากปราศจากความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่และอุปกรณ์การพิมพ์จาก คุณ อดิศักดิ์ ชยาวิวัฒน์วงศ์ และ คุณฉันทนา ชยาวิวัฒน์วงศ์ คุณ ทรรตนา ศักดิ์เศรษฐ รวมทั้งภรรยาของผู้เขียนที่ได้เสียสละเวลาตรวจแก้ไข คำผิด จัดเรียงรูปเล่ม และพิมพ์สัญลักษณ์ต่างๆ ต้องขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ที่ได้สนับสนุนในด้านการเงิน และ ให้กำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| รายการตารางประกอบ | ณ |
| รายการรูปภาพประกอบ | ญ |
| รายการสัญลักษณ์ | ฎ |
| รายการภาคผนวก | ฬ |
| บทที่ 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 บทนำทั่วไป | 1 |
| 1.2 การสำรวจการวิจัยในอดีต | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 4 |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย | 5 |
| 2. วิธีการวิเคราะห์ | 6 |
| 2.1 บทนำ | 6 |
| 2.2 สมมติฐาน | 6 |
| 2.3 พฤติกรรมการรับแรงกระทำด้านข้างขององค์อาคาร | 7 |
| 2.3.1 พฤติกรรมการรับแรงกระทำด้านข้างของโครงสร้างรูปกล่อง สี่เหลี่ยมผืนผ้า | 7 |
| 2.3.1.1 พลังงานศักย์ทั้งหมด (Total Potential Energy) ของโครงสร้างรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 8 |
| 2.3.1.2 พลังงานศักย์เนื่องจากแรงกระทำภายนอก .. | 11 |
| 2.3.1.3 วิธีการของริทซ์ (Ritz Method) | 11 |
| 2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย | 13 |
| 3. ขั้นตอนของโปรแกรมวิเคราะห์ | 19 |
| 3.1 โปรแกรมการป้อนข้อมูล | 19 |

| | ที่ |
|---------------|--|
| 3.2 | โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล 20 |
| 3.3 | โปรแกรมแสดงผลลัพท์การวิเคราะห์ 21 |
| 4 | ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ 22 |
| 4.1 | ตัวอย่างที่ 1 โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดช่วงห่างระหว่าง เสาของสองด้านเท่ากัน ด้านแรงบิดคงที่ 22 |
| 4.2 | ตัวอย่างที่ 2 โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดช่วงห่างระหว่าง เสาสองด้านเท่ากัน ด้านแรงกระทำด้านข้างผ่านศูนย์กลางขนาดคงที่ .. 24 |
| 4.3 | ตัวอย่างที่ 3 โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดช่วงห่างระหว่าง เสาสองด้านเท่ากัน ด้านแรงกระทำด้านข้างที่ไม่ผ่านศูนย์กลางตามเทศบัญญัติ กรุงเทพมหานคร 25 |
| 5. | สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 27 |
| 5.1 | สรุปผลการวิจัย 27 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะ 28 |
| เอกสารอ้างอิง | 29 |
| รูปภาพประกอบ | 31 |
| ตารางประกอบ | 62 |
| ภาคผนวก | 73 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รายการตารางประกอบ

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1. คุณสมบัติชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 1) | 63 |
| 2. คุณสมบัติต่างๆของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 1) | 64 |
| 3. แสดงค่า Stiffness Factor และ Shear Lag Parameter (ตัวอย่างที่ 1) | 65 |
| 4. แสดงค่ามุมบิดที่จุดยอดสุดของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 1) | 65 |
| 5. โมเมนต์ตัดของเสาต้นมุมของด้านที่ 1 (ตัวอย่างที่ 1) | 66 |
| 6. คุณสมบัติชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 2) | 67 |
| 7. คุณสมบัติต่างๆของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 2) | 68 |
| 8. การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแรงในแนวแกนของเสาด้านที่ 1 (ตัวอย่างที่ 2) | 69 |
| 9. การเปรียบเทียบผลรวมของแรงเฉือนในคาน 5 ชั้นแรกด้านที่ 2 (ตัวอย่างที่ 2) | 70 |
| 10. คุณสมบัติชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 3) | 71 |
| 11. คุณสมบัติต่างๆของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิกที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 3) | 72 |



รายการรูปภาพประกอบ

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| | 1. การแทนโครงสร้างดิสครีต (Discrete Structure) ด้วยกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก | 32 |
| | 2. ทิศทางของแกน x, y, z ความเค้น การเคลื่อนที่ และขนาดของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก | 32 |
| | 3. แกนอ้างอิง x, y, z และลักษณะการเคลื่อนที่ของโครงอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์ | 33 |
| | 4. การแทนแรงกระทำด้านข้าง $P(x)$ ด้วยแรงกระทำเป็นจุดที่จุดยอดสุด และแรงในรูปโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ | 33 |
| | 5. การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) E_z ของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก | 34 |
| | 6. การหาค่าโมดูลัสการเฉือน (Shear modulus) G_{z_x} ของกล่องเทียบเท่าออร์โททรอปิก | 34 |
| | 7. แสดงสัญลักษณ์การแปรเปลี่ยนขนาดของชิ้นส่วนตามความสูง | 35 |
| | 8. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ M_1, M_2, M_3 (Aspect Ratio = 0.5) | 36 |
| | 9. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ M_1, M_2, M_3 (Aspect Ratio = 0.666) | 37 |
| | 10. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ M_1, M_2, M_3 (Aspect Ratio = 1.00) | 38 |
| | 11. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ M_1, M_2, M_3 (Aspect Ratio = 1.50) | 39 |
| | 12. กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ M_1, M_2, M_3 (Aspect Ratio = 2.00) | 40 |
| | 13. แสดงขั้นตอนต่างๆของโปรแกรมการป้อนข้อมูล | 41 |
| | 14. แสดงขั้นตอนต่างๆของโปรแกรมการป้อนข้อมูล โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 42 |
| | 15. แสดงขั้นตอนต่างๆของโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล | 43 |
| | 16. แสดงขั้นตอนต่างๆของโปรแกรมแสดงผลการวิเคราะห์ | 44 |
| | 17 ก. แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไปของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 1) | 45 |

| | | |
|-------|--|----|
| 17 ข. | แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไปของกล่องเทียบเท่าออร์โธทอปิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 1) | 45 |
| 18. | มุมบิดที่ชันต่างๆ (ตัวอย่างที่ 1) | 46 |
| 19. | แรงในแนวแกนของเสาต้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ตัวอย่างที่ 1) | 47 |
| 20. | แรงเฉือนในเสาและคานของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (ตัวอย่างที่ 1) | 48 |
| 21. | แสดงการกระจายแรงในแนวแกนของเสาที่เกิดขึ้นจากแรงบิดอย่างเดียว (ตัวอย่างที่ 1) | 49 |
| 22 ก. | แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไปของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 2) | 50 |
| 22 ข. | แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไปของกล่องเทียบเท่าออร์โธทอปิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 2) | 50 |
| 23. | แสดงการกระจายแรงในแนวแกนของเสาที่เกิดขึ้นจากแรงในแนวราบที่ผ่านศูนย์กลางเดียว (ตัวอย่างที่ 2) | 51 |
| 24 ก. | แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไปของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตัวอย่างที่ 3) | 52 |
| 24 ข. | แสดงมิติและแปลนพื้นที่ทั่วไปของกล่องเทียบเท่าออร์โธทอปิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตัวอย่างที่ 3) | 52 |
| 25. | ระยะเอนที่ระดับชันต่างๆ (ตัวอย่างที่ 3) | 53 |
| 26. | มุมบิดที่ระดับชันต่างๆ (ตัวอย่างที่ 3) | 53 |
| 27. | แรงในแนวแกนของเสาต้านที่ 1 (ตัวอย่างที่ 3) | 54 |
| 28. | แรงในแนวแกนของเสาต้านที่ 2 (ตัวอย่างที่ 3) | 55 |
| 29. | แรงในแนวแกนของเสาต้านที่ 3 (ตัวอย่างที่ 3) | 56 |
| 30. | แรงในแนวแกนของเสาต้านที่ 4 (ตัวอย่างที่ 3) | 57 |
| 31. | แรงเฉือนในเสาและคานของด้านที่ 1 (ตัวอย่างที่ 3) | 58 |
| 32. | แรงเฉือนในเสาและคานของด้านที่ 2 (ตัวอย่างที่ 3) | 59 |
| 33. | แรงเฉือนในเสาและคานของด้านที่ 3 (ตัวอย่างที่ 3) | 60 |
| 34. | แรงเฉือนในเสาและคานของด้านที่ 4 (ตัวอย่างที่ 3) | 61 |

รายการสัญลักษณ์

- A_1, A_2 = ค่าคงที่ของฟังก์ชันในแนวแกนของมุมกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิกเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างที่ผ่านศูนย์กลางของโครงอาคารและแรงบิด
- A_c, A_{cc} = พื้นที่หน้าตัดของเสาภายในและเสาต้นมุมของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ภาคผนวก ก)
- A_{cc} = พื้นที่หน้าตัดเสริมชั้นของมุมกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิก (ภาคผนวก ก)
- A_{rb}, A_{rc}, A_{rcc} Effective Shear Area ของคาน เสาภายใน และเสาต้นมุมตามลำดับ
- B_1, B_2 = ค่าคงที่ของฟังก์ชันในแนวแกนของมุมกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิกเนื่องจากแรงกระทำด้านข้างที่ผ่านศูนย์กลางของโครงอาคารและแรงบิด
- $2b, 2c$ = ความยาวของด้านที่ 2 และ 1 ของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิกตามลำดับ
- C_1, C_2 = ค่าคงที่ของฟังก์ชันในแนวแกนของมุมกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิกเนื่องจากและแรงกระทำด้านข้างที่ผ่านศูนย์กลางของโครงอาคารและแรงบิด
- d = ระยะห่างระหว่างเสาของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- d_b, d_c = ความลึกของคานและความกว้างของเสาตามลำดับ
- d_1, d_2 = ระยะห่างระหว่างเสาของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
- E, E_z = โมดูลัสยืดหยุ่นของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าและกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิก ตามลำดับ
- E_1, E_2, E_c = โมดูลัสยืดหยุ่นเทียบเท่าของด้านที่ 1, 2 และที่มุมของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิก (ภาคผนวก ก) ตามลำดับ
- \bar{F} = เมตริกซ์การยืดหยุ่นของโครงอาคาร
- G, G_{zs} = โมดูลัสของการเฉือนของโครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าและกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิก ตามลำดับ
- G_1, G_2 = โมดูลัสของการเฉือนเทียบเท่าของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
- H = ความสูงทั้งหมดของโครงอาคาร
- h = ความสูงระหว่างชั้น
- I_b, I_c, I_{cc} = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดคาน เสาภายในและเสาต้นมุมตามลำดับ
- j = ดัชนีชี้ค่าโครงอาคารตัวที่ j

- J = จำนวนโครงการทั้งหมดที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้าง
 K_1, K_2, K_3 = ค่าคงที่ของฟังก์ชันมุมบิดของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิกเนื่องจากแรงกระทำที่ผ่านศูนย์กลาง
 K_4, K_5, K_6 = ค่าคงที่ของฟังก์ชันระยะเอนของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิกเนื่องจากแรงบิด
 m = จำนวนระดับอ้างอิง
 M_T = โมเมนต์บิดเนื่องจากแรงภายนอก
 \tilde{M}_T = เวกเตอร์ของโมเมนต์บิดเนื่องจากแรงภายนอก
 O = ตำแหน่งจุดอ้างอิงในโครงสร้าง
 P = เวกเตอร์ของแรงกระทำผ่านศูนย์กลาง
 P_i = แรงกระทำผ่านศูนย์กลางในรูปอนุกรมโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ ($i = 0, 1, 2, 3, \dots$)
 P_0 = แรงกระทำผ่านศูนย์กลางเป็นจุดที่จุดยอดสุดในโครงอาคาร
 Q = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในโครงอาคาร
 \tilde{Q} = เวกเตอร์ของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในโครงอาคาร
 Q_{c1}, Q_{c2} = แรงเฉือนของเสาต้นมุมของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
 Q_1, Q_2 = แรงเฉือนของเสาภายในของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
 S = เมตริกซ์ซึ่งประกอบด้วยค่าคงที่
 T_i = แรงบิดในรูปอนุกรมโพลีโนเมียลอันดับต่างๆ ($i = 0, 1, 2, 3, \dots$)
 T_0 = แรงบิดเป็นจุดที่จุดยอดสุดในโครงอาคาร
 t = ความหนาของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิก
 t_1, t_2 = ความหนาของกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิกด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
 U = พลังงานความเครียดทั้งหมด
 U_1, U_2, U_c = พลังงานความเครียดที่เกิดขึ้นในด้านที่ 1, 2 และที่มุมกล่องเทียบเท่าออร์โธโทรปิก ตามลำดับ
 V = พลังงานศักย์เนื่องจากแรงภายนอก
 V_1, V_2 = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคานของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

- V_P, V_T = พลังงานศักย์เนื่องจากแรงภายนอกที่เป็นแรงกระทำที่ผ่านศูนย์กลางและแรงบิดตามลำดับ
 u, v, w = การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในทิศทาง x, y, z ตามลำดับ
 w_c = การเคลื่อนที่ในแนวแกนของมุกกล่องเทียบเท่าออร์โธทรอปิก
 W_L = แรงเฉือนเนื่องจากแรงภายนอก
 \tilde{W}_L = เวกเตอร์ของแรงเฉือนเนื่องจากแรงภายนอก
 x, y, z = ระบบพิกัดฉาก
 X = ระยะในแนวตั้งจากจุดสูงสุดในโครงอาคาร
 \tilde{Y} = เวกเตอร์ของระยะ เอนในทิศทางของแรงกระทำผ่านศูนย์กลาง
 Z = ระยะของโครงอาคารจากจุดพิกัด เริ่มต้น
 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ = ความเครียดในทิศทาง x, y, z ตามลำดับ
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ = ความเค้นในทิศทาง x, y, z ตามลำดับ
 γ_{xz}, γ_{yz} = ความเครียดของการเฉือนของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
 τ_{xz}, τ_{yz} = ความเค้นการเฉือนของด้านที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
 ϵ_c, σ_c = ความเครียดและความเค้นในแนวแกนของมุกกล่องเทียบเท่าออร์โธทรอปิกตามลำดับ
 θ = มุมบิดในระนาบราบ
 $\bar{\theta}$ = มุมบิดในรูปของฟังก์ชันที่สมมติขึ้น
 Δ = ระยะเอนในรูปของฟังก์ชันที่สมมติขึ้น
 ξ = พารามิเตอร์ = z/H



รายการภาคผนวก

| ภาคผนวก | หน้า |
|---|------|
| ก. วิธีการหาค่าต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ของกล่องเทียบเท่า ออร์โธโทรปิค | 74 |
| ข. วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดในรูปแรงบิดเดี่ยวที่จุดยอดสุดและ โพลีโนเมียลอันดับต่างๆกับมุมบิดของ โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 77 |
| ค. วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเดี่ยวในแนวราบที่ผ่านศูนย์กลางที่จุดยอดสุด และโพลีโนเมียลอันดับต่างๆกับระยะ เอนของ โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 83 |
| ง. การหาแรงภายใน โครงสร้างคานครีตของ โครงข้อแข็งรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 90 |
| จ. ตัวอย่างการป้อนข้อมูลและผลลัพธ์การวิเคราะห์ | 92 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย