การคำนวณออกแบบโครงถักเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีงานสมมุติ

นางสาววรพรรณ วงศ์สรรคกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974 - 633 -198 -1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16795416

OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL TRUSSES BY VIRTUAL WORK METHOD

Miss Worapun Wongsankakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974 -633 - 198 -1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคำนวณออกแบบโครงถักเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีงานสมบัติ
โดย	นางสาววรพรรณ วงศ์สรรคกร
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วรพรรณ วงศ์สรรคกร : การคำนวณออกแบบโครงถักเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมโดยวิธีงานสมมุติ (OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL TRUSSES BY THE VIRTUAL WORK METHOD) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, 59 หน้า. ISBN 974-633-198-1

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาการคำนวณและออกแบบโครงถักเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมด้วยวิธีงานสมมุติ เพื่อให้ได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคารที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงพฤติกรรมการโก่งเดาะเนื่องจากการดัดขององค์อาคารรับแรงอัดและมีค่าการเคลื่อนตัวไม่เกินค่าที่ยอมให้

ด้วยวิธีงานสมมุติจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าดัชนีความไวขององค์อาคาร ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสำคัญขององค์อาคารนั้นต่อการเคลื่อนตัวรวมของโครงถัก การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคารที่มีค่าดัชนีความไวสูงจะเป็นการลดค่าการเคลื่อนตัวรวมในทิศทางของแรงสมมุติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางทฤษฎีการออกแบบอย่างเหมาะสม ทำได้โดยการปรับค่าดัชนีความไวของทุกองค์อาคารให้มีค่าเท่ากัน ส่วนในทางปฏิบัติโครงถักดีเทอมิเนทสามารถทำได้หลังจากการปรับค่าพื้นที่หน้าตัดเพียงรอบเดียว แต่สำหรับโครงถักอินดีเทอมิเนทนั้นต้องใช้วิธีลองผิดลองถูกจนกระทั่งคำตอบลู่เข้าสู่จุดที่เหมาะสม แล้วจึงนำพื้นที่หน้าตัดดังกล่าวไปตรวจสอบการรับแรงตามข้อกำหนดมาตรฐานอาคารเหล็กรูปพรรณของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ธันวาคม พ.ศ.2518, มาตรฐาน AISC/ASD 1989 และมาตรฐาน AISC/LRFD 1994

ผลการวิจัยพบว่า วิธีงานสมมุติสามารถนำมาใช้ในการคำนวณออกแบบโครงถักระนาบสองมิติได้อย่างเหมาะสมทั้งชนิดดีเทอมิเนทและอินดีเทอมิเนท กล่าวคือโครงถักสามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัยภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐานที่ระบุไว้ข้างต้น โดยมีค่าสัดส่วนความชะลูดไม่เกินค่าที่กำหนดและมีค่าการเคลื่อนตัวไม่เกินค่าที่ยอมให้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C515381 : MAJOR CIVIL ENGINEERING/STRUCTURE
KEY WORD: VIRTUAL WORK/STIFFNESS/SENSITIVITY INDEX/DISPLACEMENT PARTICIPATION FACTOR

WORAPUN WONGSANKAKORN : OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL TRUSSES BY THE VIRTUAL WORK METHOD. ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI,Ph.D. 59 pp. ISBN 974-633-198-1

The purpose of this research is to study and develop an optimum design procedure for plane steel trusses using the Virtual Work Method. The method includes the effects of bend buckling for compression members. A suitable cross-sectional area of each member in a truss under given loads and displacement will be automatically selected.

By the Virtual Work Method the member sensitivity index (SI) which is the index showing the importance of the member contributed to the total displacement can be located. The more cross-sectional area of the members having higher SI are added the less in total displacement will be gotten in an effective way. In theory, a truss having same SI value for all members will be an optimum truss. For a determinate truss, an optimum value is obtained after the first cycle of adjusting the area. For an indeterminate truss, on the other hand, the trial and error steps are used until the solution is converged to the optimum value. The truss thus obtained is then rechecked according to the specifications from three design codes,i.e., The standard for steel structure by Engineering Institute of Thailand (EIT,1975), The Allowable Stress Design by American Institute of Steel Construction (AISC/ASD 1989) and The Load and Resistance Factor Design by American Institute of Steel Construction (AISC/LRFD 1994)

It has been found from this research that the Virtual Work Method is an effective method in designing optimum plane steel trusses. The design trusses will safely resist the loads with the member slenderness ratio and the maximum displacement not larger than the values allowed by the standard codes for design.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา และเสนอแนะแนวทางการศึกษาตลอดจนตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งการเขียนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดีและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร และ ศาสตราจารย์วรุณ คุณวาสี ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบคุณพี่ๆ ที่บริษัทแวลูดีซายน์ แอนด์ คอนซัลแทนท์ จำกัด ที่ให้เวลาและอำนวยความสะดวกทุกอย่างให้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ที่เอาใจช่วย และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

วรพรรณ วงศ์สรรคกร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
สัญลักษณ์ ..... ฐ
ศัพท์วิทยาการ ..... ณ
บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 กล่าวนำ 1
   1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา 4
   1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5
   1.4 สมมุติฐานในการวิเคราะห์ 6
   1.5 ขอบเขตของการวิจัย 6
   1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 6
2. การคำนวณออกแบบโครงถักเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีงานสมมุติ 7
   2.1 กล่าวนำ 7
   2.2 การวิเคราะห์โครงถักระนาบ 8
   2.3 การออกแบบโครงถักระนาบ 14
      2.3.1 ข้อบัญญัติของ วสท. 14
      2.3.2 ข้อกำหนดของ AISC /ASD 1989 17
      2.3.3 ข้อกำหนดของ AISC /LRFD 1994 18
   2.4 สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีงานสมมุติ 22
3. ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและการเปรียบเทียบ 24
   3.1 กล่าวนำ 24
   3.2 ตัวอย่างการคำนวณออกแบบ 24
      ตัวอย่างที่ 1 26
      ตัวอย่างที่ 2 31
      ตัวอย่างที่ 3 33
      ตัวอย่างที่ 4 35
      ผลการคำนวณตัวอย่างที่ 1 38
      ผลการคำนวณตัวอย่างที่ 2 39
      ผลการคำนวณตัวอย่างที่ 3 39
      ผลการคำนวณตัวอย่างที่ 4 40
   3.3 การเปรียบเทียบผลการคำนวณออกแบบโครงถักระนาบ 41

4. สรุปผลและวิจารณ์ 42
4.1 กล่าวนำ 42
4.2 สรุปผลการวิจัย 42
4.3 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อเนื่อง 43
รายการอ้างอิง 44
ภาคผนวก ก. 46
ภาคผนวก ข. 56
ประวัติ 59

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1. ข้อมูลวัสดุของตัวอย่างที่ 1 26
2. แสดงการคำนวณน้ำหนักบรรทุกคงที่ 27
3. แสดงการคำนวณน้ำหนักบรรทุกจร 27
4. แสดงการคำนวณน้ำหนักกระทำเนื่องจากแรงลม....27
5. สรุปข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 1 27
6. การเลือกพื้นที่หน้าตัดในแต่ละรอบของการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบ 10 ชิ้นส่วน ในการรวมแรง Case a. : D+L ด้วยข้อกำหนดAISC/ASD....28
7. การเลือกพื้นที่หน้าตัดในแต่ละรอบของการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบ 10 ชิ้นส่วน ในการรวมแรง Case b. : 0.75(D+L+W) ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 28
8. การเลือกพื้นที่หน้าตัดในแต่ละรอบของการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบ 10 ชิ้นส่วน ในการรวมแรง Case c. : 0.75(D + W) ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD....29
9. การเลือกพื้นที่หน้าตัดในแต่ละรอบของการกระทำซ้ำของโครงถักระนาบ 10 ชิ้นส่วน ในการรวมแรง Case d. : 0.75(D - W) ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD....29
10. การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบ 10 ชิ้นส่วน จากการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 4 กรณี 30
11. การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบ 10 ชิ้นส่วน จากการออกแบบด้วย 3 ข้อกำหนด....30
12. ข้อมูลวัสดุของตัวอย่างที่ 2....31
13. ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 2 31
14. การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบ 4 ชิ้นส่วน จากการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 4 กรณี 32
15. การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบ 4 ชิ้นส่วน จากการออกแบบด้วย 3 ข้อกำหนด....32
16. ข้อมูลวัสดุของตัวอย่างที่ 3....33
17. ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 3 33
18. การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบ 9 ชิ้นส่วน จากการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 4 กรณี 34
19. การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบ 9 ชิ้นส่วน จากการออกแบบด้วย 3 ข้อกำหนด....34
20. ข้อมูลวัสดุของตัวอย่างที่ 4....35
21. ข้อมูลแรงกระทำชุดที่ 1 ตัวอย่างที่ 4 35
22. ข้อมูลแรงกระทำชุดที่ 2 ตัวอย่างที่ 4 36
23. การเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของโครงถักระนาบ 26 ชิ้นส่วน จากการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 4 กรณี และการเปรียบเทียบจากการออกแบบด้วย 3 ข้อกำหนด....37
24. ค่าตัวประกอบสำหรับน้ำหนักในแต่ละชุด ของตัวอย่างที่ 4....40

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

1. การออกแบบโดยวิธีลองผิดลองถูก 1
2. การออกแบบโดยวิธีงานสมมุติ 2
3. โครงถักระนาบสิบชิ้นส่วน 26
4. โครงถักระนาบสี่ชิ้นส่วน 31
5. โครงถักระนาบเก้าชิ้นส่วน 33
6. โครงถักระนาบยี่สิบหกชิ้นส่วน 35
7. ขั้นตอนการวิเคราะห์ 46
8. ขั้นตอนการตรวจสอบ 47
9. ขั้นตอนการออกแบบด้วยวิธี EIT/ASD และ AISC/ASD 48
10. ขั้นตอนการตรวจสอบหลังจากออกแบบด้วยวิธี EIT/ASDและAISC/ASD 49
11. ขั้นตอนการออกแบบด้วยวิธี AISC/LRFD 50
12. ขั้นตอนการตรวจสอบหลังจากออกแบบด้วยวิธี AISC/LRFD 51
13. การออกแบบด้วยวิธี EIT/ASD 52
14. การออกแบบด้วยวิธี AISC/ASD 53
15. การออกแบบด้วยวิธี AISC/LRFD 54
16. การคำนวณหาค่า u_i , P_i , R_x , R_y 55

สัญลักษณ์

a_i = พื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร

A = เมตริกซ์แปลงรูปร่าง (Transformation Matrix) ได้มาจาก โคซายน์ (Cosine) แสดงทิศทางของชิ้นส่วนที่จุดต่อ

A^T = เมตริกซ์รูปร่างสมดุล (Equilibrium Geometry Matrix) หาได้จากการทรานสโพส (Transpose) เมตริกซ์แปลงรูปร่าง

A_e = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล (Effective net area)

A_n = เนื้อที่หน้าตัดสุทธิ (Net area)

A_g = เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด (Gross area)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ

D = น้ำหนักคงที่ที่กระทำถาวรต่อโครงสร้าง

e_o = ระยะยืดหดของชิ้นส่วนเริ่มแรก เช่น เกิดจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

E = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก มีค่าเท่ากับ 2.1×10^6 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร

E = น้ำหนักกระทำเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว (Earthquake load)

F = เมตริกซ์ของแรงที่กระทำกับโครงถัก

F_a = หน่วยแรงอัดในแนวแกนที่ยอมให้ ขององค์อาคารหลัก

F_{as} = หน่วยแรงอัดในแนวแกนที่ยอมให้ ขององค์อาคารรองและค้ำยัน

F_{cr} = หน่วยแรงอัดในแนวแกนที่จุดวิกฤติ (Critical buckling stress)

F_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้

F_u = กำลังดึงน้อยที่สุด

K = ตัวคูณประกอบของความยาวประสิทธิผล

KL = ความยาวประสิทธิผลขององค์อาคารที่จะเกิดการโค้งงอ

L = ความยาวขององค์อาคาร

L = น้ำหนักบรรทุกจร เป็นน้ำหนักที่โครงถักจะต้องบรรทุกเมื่ออยู่ในสภาพใช้งาน

L_r = น้ำหนักบรรทุกจรบนหลังคา (Roof live load)

P_a = แรงอัดที่ยอมให้

P_i = แรงในแนวแกนของแต่ละองค์อาคารที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างรวมเมื่อถูกแรงกระทำ

p_i = แรงในแนวแกนของแต่ละองค์อาคารเมื่อถูกแรงสมมุติ (Q=1) กระทำในทิศทางที่เกิดค่าการเปลี่ยนตำแหน่งรวมสูงสุดในแต่ละกรณีของแรงที่กระทำกับโครงถัก

P_n = กำลังรับแรงดึงในแนวแกน

r = รัศมีไจเรชั่นของพื้นที่รอบแกนที่จะเกิดการโค้งงอ

R = น้ำหนักกระทำเนื่องจากน้ำฝน (Rain load)

S = น้ำหนักกระทำเนื่องจากหิมะ (Snow load)

SI_i = เป็นค่าที่ดัชนีที่แสดงถึงองค์อาคารใดมีผลต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงถัก (The member's sensitivity index)

Q = แรงสมมุติที่กระทำกับโครงถัก มีค่าเท่ากับ 1 หน่วย

R = แรงปฏิกริยาที่จุดรองรับ

T_w = แรงดึงที่ยอมให้

u = เมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงถัก

U = สัมประสิทธิ์ตัวลด (Reduction coefficient)

W = น้ำหนักกระทำเนื่องจากแรงลม (Wind load)

W_E = งานภายนอก (External work)

W_I = งานภายใน (Internal work)

$W_{I,i}$ = เป็นค่าที่แสดงถึงองค์อาคารใดมีผลต่อระยะการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจริงในทิศทางของแรงสมมุติ (The member displacement participation factor ,DPF)

α = สัมประสิทธิ์ต้านทานการยืดหดของเหล็กเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน มีค่าเท่ากับ 0.000012 /°C

γ = ค่าความปลอดภัยของน้ำหนักกระทำ ในการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/LRFD

δ = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงถัก ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการหา

δ_{alw} = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงถักที่ยอมให้ (Allowable displacement)

ϕ = ตัวคูณลดค่ากำลังขององค์อาคาร มีค่าน้อยกว่า 1 แปรตามความเสี่ยงในการวิบัติ

Δ = การยืดหดในแนวแกนของแต่ละองค์อาคาร (Axial deformation)

ศัพท์วิทยาการ

ค่าตัวประกอบเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวขององค์อาคาร	The member displacement participation factor
ค่าดัชนีความไว	Sensitivity index
ค่าการเคลื่อนตัว, ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง	Displacement
งานสมมุติ	Virtual work
สัดส่วนความชะลูด	Slenderness ratio
สัมประสิทธิ์ตัวลด	Reduction coefficient