การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงถักระนาบที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นโดยใช้วิธีงานสมมุติ

นายวีระพงษ์ ไชยสถิตวานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-151-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTIMUM DESIGN OF NONLINEAR PLANE TRUSSES BY THE VIRTUAL WORK METHOD

Mr. WEERAPONG CHAISATITWANICH

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Repquirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1997
ISBN 974-635-151-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงถักที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นโดยวิธีงานสมมุติ
โดย	นาย วีระพงษ์ ไชยสถิตวานิช
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

....กรรมการ

(ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วีระพงษ์ ไชยสถิตวานิช : การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงถักระนาบที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นโดยใช้วิธีงานสมมุติ (OPTIMUM DESIGN OF NONLINEAR PLANE TRUSSES BY VIRTUAL WORK METHOD) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, 65 หน้า ISBN 974-635-151-6

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสม สำหรับโครงถักที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นด้วยวิธีงานสมมุติ โดยมีการเปลี่ยนตำแหน่ง หน่วยแรง การโก่งเดาะและอัตราส่วนความชะลูดเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ค่าดัชนีความไวซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสำคัญขององค์อาคารนั้นต่อการเปลี่ยนตำแหน่งสามารถหาได้โดยวิธีการงานสมมุติ การปรับเพิ่มหรือลดขนาดขององค์อาคารควรเพิ่มขนาดให้องค์อาคารที่มีค่าดัชนีความไวสูงและลดสำหรับองค์อาคารที่มีดัชนีความไวต่ำ ในทางทฤษฎี การคำนวณแบบอย่างเหมาะสมที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อทุกองค์อาคารมีค่าดัชนีความไวเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ ขนาดขององค์อาคารจะต้องคำนึงถึงกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักและอัตราส่วนความชะลูดที่กำหนดโดยมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้นหลังจากการลู่เข้าสู่คำตอบ จะนำโครงถักมาตรวจสอบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน AISC/ASD 1989 และ AISC/LRFD 1994 และทำการปรับขนาดขององค์อาคารตามความจำเป็น

วิธีนิวตัน-ราฟสันถูกใช้ในการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นโดยวิธีการรวมสติฟเนสโดยตรง ถึงแม้ว่าวัสดุจะมีพฤติกรรมแบบเชิงเส้นแต่ การตอบสนองของโครงสร้างเป็นแบบไม่เชิงเส้น สมการสมดุลและสติฟเนสของชิ้นส่วนถูกสร้างขึ้นโดยใช้ทฤษฎีคาลติเกลียโน การวิเคราะห์ซ้ำจะดำเนินไปจนกระทั่งการเปลี่ยนตำแหน่งและเวคเตอร์แรงชดเชยมีค่าน้อยกว่า 0.1 %

ผลการวิจัยพบว่าวิธีงานสมมุติสามารถนำมาใช้ในการคำนวณออกแบบที่เหมาะสมสำหรับโครงถักระนาบที่มีพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น โดยเฉพาะในโครงสร้างที่มีความสูงหรือความชะลูดมาก การคำนวณออกแบบโดยวิธีดังกล่าวจะให้ขนาดหน้าตัดที่เหมาะสม ปลอดภัย และการเปลี่ยนตำแหน่งมากที่สุดมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ตามข้อกำหนด โดยมีปริมาตรรวมเพิ่มขึ้นมากกว่าการออกแบบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นประมาณ 0-11 %

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา	**ลายมือชื่อนิสิต** ....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** ....
ปีการศึกษา 2539	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** ....

C615399 : MAJOR CIVIL ENGINEERING/STRUCTURE
KEY WORD: OPTIMUM DESIGN/GEOMETRICALLY NONLINEAR/VIRTUAL WORK/SENSITIVITY INDEX

WEERAPONG CHAISATITWANICH : OPTIMUM DESIGN OF NONLINEAR PLANE TRUSSES BY THE VIRTUAL WORK METHOD. THESIS ADVISOR : PROF.THAKSIN THEPCHATRI,Ph.D. 65pp. ISBN 974-635-151-6

By the Virtual Work Method, the development of an optimum design for geometrically nonlinear plane trusses subject to displacement, stress, buckling and slenderness ratio constraints is presented in this research. The member sensitivity index(SI) which is the index showing the importance of the member contributed to the total displacement can be evaluated. The material should be added to members with high SI and removed from members with low SI. Theoritically, the optimum design is obtained when all members have the same SI. In practice, however, strength and slenderness ratio limitations given by codes must be satisfied. Therefore, after the convergence is obtained, the solution is then rechecked according to specifications from two codes, i.e., AISC/ASD 1989 and AISC/LRFD 1994. The members will be adjusted if necessary.

The Newton-Raphson method is used for the geometrically nonlinear analysis by the direct stiffness method. Although the material behaves linearly, the response of the structure becomes nonlinear. Equilibrium equations and geometric stiffness of the element are formulated from the Castiglino's theorm. The iterative process is continued until displacements and compensating vector are less than 0.1%.

It has been found from this reseach that the Virtual Work Method is an effective method in the optimum design of geometrically nonlinear plane steel trusses. This method makes solution suitable, safe and the maximum displacement not exceed the design code requirements. The total volume obtained is approximately 0-11% more than that obtained by linear analysis.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2539	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา และเสนอแนะแนวทางการศึกษารายละเอียด ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งการเขียนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล และดร. ธีรพงศ์ จันทร์เสนผิไชย ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้หากมีประโยชน์อยู่บ้าง ผู้เขียนขอมอบกับผู้อ่านทุกท่านที่สนใจ

วีระพงษ์ ไชยสถิตวานิช

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
สัญลักษณ์ ..... ฏ
ศัพท์วิทยาการ ..... ฑ
บทที่
1. บทนำ 1
ความนำ 1
งานวิจัยที่ผ่านมา 2
วัตถุประสงค์ 4
ขั้นตอนและวิธีการวิจัย 4
ขอบเขตของงานวิจัย 4
ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 6
2. ทฤษฎีและแนวคิด 7
ความนำ 7
สมมุติฐาน 8
การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต 8
วิธีของนิวตัน-ราฟสัน 10
สติฟเนสของชิ้นส่วน 12
สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต 15
หลักการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุด 16
กรณีที่เป็นโครงถักแบบอินดีเทอร์มิเนต 19
กรณีใช้ชิ้นส่วนเป็นกลุ่ม 20
การออกแบบองค์อาคารตามข้อกำหนด 21

หน้า

การออกแบบองค์อาคารตามข้อกำหนด.. 21

สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีงานสมมุติ.. 28

3. ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและการเปรียบเทียบ.. 30

ความนำ.. 30

ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและผลลัพธ์.. 30

4. สรุปผลและวิจารณ์.. 55

ความนำ.. 55

สรุปงานวิจัย.. 56

ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อเนื่อง.. 57

รายการอ้างอิง.. 58

ภาคผนวก ก.. 61

ภาคผนวก ข.. 62

ภาคผนวก ค.. 63

ภาคผนวก ง.. 64

ประวัติ.. 65

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นตัวอย่างที่ 1 32

3.2 ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 1 32

3.3 ข้อมูลชิ้นส่วนตัวอย่างที่ 1 32

3.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งจากการออกแบบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นและการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นโปรแกรม SAP90 32

3.5 เปรียบเทียบแรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นกับการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นโปรแรม SAP90 34

3.6 ข้อมูลเบื้องต้นตัวอย่างที่ 2 36

3.7 ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 2 37

3.8 ข้อมูลชิ้นส่วนตัวอย่างที่ 2 37

3.9 เปรียบเทียบผลการคำนวณในแต่ละรอบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นของน้ำหนักรวมกรณีที่ 1 ตามข้อกำหนด AISC/ASD 1989 38

3.10 เปรียบเทียบผลการคำนวณในแต่ละรอบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นของน้ำหนักรวมกรณีที่ 2 ตามข้อกำหนด AISC/LRFD 1994 39

3.11 สรุปเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 1989 และ AISC/LRFD 1994 กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา 40

3.12 ข้อมูลเบื้องต้นตัวอย่างที่ 3 43

3.13 ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 3 43

3.14 ข้อมูลชิ้นส่วนตัวอย่างที่ 3 44

3.15 เปรียบเทียบผลการคำนวณในแต่ละรอบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นของน้ำหนักรวมกรณีที่ 1 ตามข้อกำหนด AISC/ASD 1989 44

3.16 สรุปผลการออกแบบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 1989 กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา 47

3.17 ข้อมูลเบื้องต้นตัวอย่างที่ 4 50

3.18 ข้อมูลแรงกระทำตัวอย่างที่ 4 50

3.19 ข้อมูลชิ้นส่วนตัวอย่างที่ 4 51

3.20 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบในแต่ละกรณีของน้ำหนักกระทำรวม
กรณีการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 1989 51
3.21 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบในแต่ละกรณีของน้ำหนักกระทำรวม
กรณีการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 1989 52
3.22 สรุปผลการออกแบบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น
ด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 1989 54

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน 11

2.2 แสดงผลการโก่งตัวกับความเครียด 12

2.3 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งขององค์อาคาร 13

3.1 ตัวอย่างโครงถักสี่สิบเจ็ดชิ้นส่วน 31

3.2 ตัวอย่างโครงถักยี่สิบหกชิ้นส่วน 36

3.3 ตัวอย่างโครงถักสามสิบสองชิ้นส่วน 42

3.4 กราฟเปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 1989 48

3.5 ตัวอย่างโครงถักแปดสิบชิ้นส่วน 49

ก.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น 61

ข.1 การออกแบบด้วยวิธีงานสมมุติ 62

ค.1 การออกแบบด้วยข้อกำหนดมาตราฐาน AISC/ASD 1989 63

ง.1 การออกแบบด้วยข้อกำหนดมาตราฐาน AISC/LRFD 1994 64

สัญลักษณ์

a	=	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้
A	=	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน
A_e	=	เนื้อที่หน้าตัดสุทธิประสิทธิผล
A_g	=	เนื้อที่หน้าตัดทั้งหมด
D	=	น้ำหนักบรรทุกคงที่
E	=	น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว
E	=	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ
F_y	=	หน่วยแรงที่จุดคลาก
F_u	=	กำลังดึงน้อยที่สุด
i	=	จำนวนกลุ่มของชิ้นส่วน
j	=	จำนวนชิ้นส่วนในแต่ละกลุ่ม
K	=	สติฟเนสของโครงสร้าง
K_G	=	สติฟเนสทางเรขาคณิตของโครงสร้าง
L	=	ความยาวขององค์อาคาร
L	=	น้ำหนักบรรทุกจร
L_r	=	น้ำหนักบรรทุกจรบนหลังคา
n	=	จำนวนรอบของการวิเคราะห์ซ้ำ
p_i	=	แรงในแนวแกนที่เกิดจากแรงสมมุติ
P	=	แรงกระทำภายนอก
P_i	=	แรงในแนวแกน
Q	=	แรงสมมุติที่กระทำกับโครงถักมีค่า 1 หน่วย
r	=	รัศมีไจเรชัน
R	=	น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากฝน
R_n	=	ค่ากำลังต้านทานขององค์อาคาร
S	=	น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากหิมะ

SI	=	ดัชนีความไว
T_W	=	แรงดึงที่ยอมให้
u	=	ระยะเปลี่ยนตำแหน่ง
U	=	สัมประสิทธิ์ลดกำลัง
U_e	=	พลังงานความเครียด
U_L	=	พลังงานความเครียดจากความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่เป็นเส้นตรง
U_{NL}	=	พลังงานความเครียดจากความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการเปลี่ยนตำแหน่งที่ไม่เป็นเส้นตรง
v	=	ปริมาตรของชิ้นส่วน
w	=	ระยะระหว่างรอยเชื่อม
W	=	น้ำหนักบรรทุกเนื่องจากแรงลม
W_E	=	งานภายนอก
W_I	=	งานภายใน
x	=	ระยะตามแนวแกน
X	=	จุดพิกัดใน n มิติ
Δ	=	การยืดหดในแนวแกน
δ	=	ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งรวมของโครงถัก
ε_x	=	ความเครียดในแนวแกน
$\delta\varepsilon_x$	=	ความเครียดตามแนวแกนที่เพิ่มขึ้น
γ_i	=	ค่าความปลอดภัยของน้ำหนัก
ϕ	=	สัมประสิทธิ์ลดกำลังแปรตามความเสี่ยง
ϕ_c	=	อัตราส่วนต้านทานสำหรับแรงอัด
λ	=	อัตราส่วนความชะลูด
$\Vert\ \Vert$	=	ยูคลีเดียนนอร์ม

ศัพท์วิทยาการ

การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต	Geometrically nonlinear analysis
ค่าตัวประกอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนตำแหน่งขององค์อาคาร	Member dislplacement participation factor
ค่าดัชนีความไว	Sensitivity index
ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง, ค่าการเคลื่อนที่	Displacement
งานสมมุติ	Virtual work
อัตราส่วนความชะลูด	Slenderness ratio
สัมประสิทธิ์ตัวลด	Reduction coefficient
ยูคลีเดียนนอร์ม	Eucledean norm