การออกแบบที่เหมาะที่สุดสำหรับโครงข้อแข็งเหล็กระนาบโดยใช้วิธีงานเสมือน

นายชาญชัย อิงคณิสร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-635-281-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I ๓๗๑๔ ๒๙๘๑

OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL RIGID FRAMES BY VIRTUAL WORK METHOD

Mr. Chanchai Ingkanisorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-635-281-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบที่เหมาะที่สุดสำหรับโครงข้อแข็งเหล็กระนาบโดยใช้วิธีงานเสมือน
โดย	นายชาญชัย อิงคณิสร
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล)

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

.....กรรมการ
(ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ชาญชัย อิงคณิสร : การออกแบบที่เหมาะที่สุดสำหรับโครงข้อแข็งเหล็กระนาบโดยใช้วิธีงานเสมือน (OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL RIGID FRAMES BY VIRTUAL WORK METHOD) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาตรี, 39 หน้า. ISBN 974-635-281-4

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสม สำหรับโครงข้อแข็งด้วยวิธีงานสมมุติ โดยมีการเปลี่ยนตำแหน่ง หน่วยแรง การโก่งเดาะและอัตราส่วนความชะลูดเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ค่าดัชนีความไวซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสำคัญขององค์อาคารนั้นต่อการเปลี่ยนตำแหน่งสามารถหาได้โดยวิธีงานสมมุติ การปรับเพิ่มหรือลดขนาดขององค์อาคารจะพิจารณาจากค่าดัชนีความไวนี้ โดยจะเพิ่มขนาดให้องค์อาคารที่มีค่าดัชนีความไวสูงและลดขนาดขององค์อาคาร สำหรับองค์อาคารที่มีดัชนีความไวต่ำ ในทางทฤษฎีการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อทุกองค์อาคารมีค่าดัชนีความไวเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติขนาดขององค์อาคารจะต้องคำนึงถึงกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักและอัตราส่วนความชะลูดที่กำหนดโดยมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้นหลังจากการลู่เข้าสู่คำตอบ จะนำโครงข้อแข็งมาตรวจสอบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน AISC/ASD 1989 และทำการปรับขนาดขององค์อาคารตามความจำเป็น

ผลการวิจัยพบว่าวิธีงานสมมุติสามารถนำมาใช้ในการคำนวณออกแบบที่เหมาะสมสำหรับโครงข้อแข็งระนาบ โดยเฉพาะในโครงสร้างที่มีความสูงหรือความชะลูดมาก การคำนวณออกแบบโดยวิธีดังกล่าวจะให้ขนาดหน้าตัดที่เหมาะสม ปลอดภัย และการเปลี่ยนตำแหน่งมากที่สุดมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ตามข้อกำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C615055 MAJOR CIVIL ENGINEERING/STRUCTURE
KEY WORD: :OPTIMUM DESIGN/RIGID FRAME/VIRTUAL WORK /
SENSITIVITY INDEX

CHANCHAI INGKANISORN : OPTIMUM DESIGN OF PLANE STEEL RIGID FRAMES BY THE VIRTUAL WORK METHOD.
ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI,Ph.D. 39 pp.
ISBN 974-635-281-4

By the Virtual Work Method, the development of an optimum design for plane steel rigid frames 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 The Allowable Stress Design by American Institute of Steel Construction(AISC/ASD 1989) . The members will be adjusted if necessary.

It has been found from this reseach that the Virtual Work Method is an effective method in the optimum design of plane steel frames. This method makes solution suitable, safe and the maximum displacement does not exceed the design code requirements.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนะแนวทางการศึกษา ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี และ ดร.ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ มารดา และพี่สาวของผู้เขียน ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียนและกำลังใจ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนขอแสดงความรำลึกถึงพระคุณของบิดาที่ล่วงลับ ที่ได้เลี้ยงดู ให้โอกาสและสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนแก่ผู้เขียนตลอดมา

ชาญชัย อิงคณิสร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์..... ฎ
ศัพท์วิทยาการ..... ฐ
บทที่
1. บทนำ..... 1
กล่าวนำ..... 1
งานวิจัยที่ผ่านมา..... 3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4
สมมุติฐานในการวิเคราะห์..... 4
ขอบเขตของการวิจัย..... 4
ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... 5
2. การคำนวณออกแบบโครงสร้างข้อแข็งเหล็กระนาบอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีงานสมมุติ
กล่าวนำ..... 6
การวิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบ..... 6
การออกแบบโครงข้อแข็งระนาบตามข้อกำหนดของ AISC/ASD 1989 13
สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีงานสมมุติ..... 18
3. ตัวอย่างการคำนวณออกแบบและการเปรียบเทียบ
กล่าวนำ..... 20
ตัวอย่างการคำนวณออกแบบ..... 20
เปรียบเทียบผลการคำนวณออกแบบโครงข้อแข็งระนาบ..... 28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่

4. สรุปและวิจารณ์ผล.....29
กล่าวนำ.....29
สรุปผลการวิจัย.....29
ข้อเสนอแนะและงานวิจัยต่อเนื่อง.....30
รายการอ้างอิง.....31
ภาคผนวก ก.....34
ภาคผนวก ข.....35
ภาคผนวก ค.....36
ภาคผนวก ง.....37
ภาคผนวก จ.....38
ประวัติผู้เขียน.....39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

3.1 ข้อมูลเบื้องต้น.....22
3.2 ข้อมูลแรงกระทำที่จุดต่อ.....22
3.3 ข้อมูลแรงกระทำตลอดความยาวของชิ้นส่วน.....22
3.4 ข้อมูลชิ้นส่วน.....22
3.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้างจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโปรแกรม MICROFEAP-P1.....23
3.6 เปรียบเทียบแรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโปรแกรม MICROFEAP-P1..... 24
3.7 ข้อมูลเบื้องต้น.....26
3.8 ข้อมูลแรงกระทำที่จุดต่อ.....26
3.9 ข้อมูลแรงกระทำตลอดความยาวของชิ้นส่วน.....26
3.10 ข้อมูลชิ้นส่วน.....26
3.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดขององค์อาคารในแต่ละรอบของการคำนวณ.....27
3.12 เปรียบเทียบผลการออกแบบด้วยข้อกำหนด AISC/ASD 1989 จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับเอกสารอ้างอิง.....27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

1.1 การออกแบบโดยวิธีลองผิดลองถูก..... 1
1.2 การออกแบบโดยวิธีงานสมมุติ.....2
2.1 แสดงค่า DPF เนื่องจากแรงดัด แรงเฉือน
และแรงในแนวแกนขององค์อาคาร..... 10
3.1 ตัวอย่างโครงสร้างข้อแข็งระนาบ 20 ชิ้นส่วน..... 21
3.2 ตัวอย่างโครงสร้างข้อแข็งระนาบ 30 ชิ้นส่วน..... 25
ก. ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Mode)..... 34
ข. ขั้นตอนการออกแบบอย่างเหมาะสมด้วยวิธีงานสมมุติ.....35
ค. การออกแบบด้วยวิธี ASD คำนวนหา
หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ (F_a)..... 36
ง. การออกแบบด้วยวิธี ASD คำนวนหา
หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ (F_b)..... 37
จ. การออกแบบด้วยวิธี ASD คำนวนหาผลรวมของหน่วย
แรงอัดและหน่วยแรงดัด (Combined Stress)..... 38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

$[a]$ = เมตริกซ์แปลงโคออร์ดิเนต (Transformation Matrix)

A = เนื้อที่หน้าตัด

a_i = พื้นที่หน้าตัดขององค์อาคาร

$[a]^T$ = ทรานสโพส (Transpose) ของเมตริกซ์ $[a]$

b_f = ความกว้างของปีกคาน

C_b = สัมประสิทธิ์เนื่องจากโมเมนต์ที่ปลาย

$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$

C_m = สัมประสิทธิ์ตัวลดค่าโมเมนต์

D = น้ำหนักคงที่ที่กระทำถาวรต่อโครงสร้าง

d_f = ระยะระหว่างกึ่งกลางปีกบนและปีกล่างของคาน

d_w = ความสูงของเอว

E = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก มีค่าเท่ากับ 2.1×10^6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

$\{F\}$ = เมตริกซ์ของแรงที่กระทำกับโครงข้อแข็ง

f_a = หน่วยแรงอัดในแนวแกนที่เกิดขึ้น

F_a = หน่วยแรงอัดในแนวแกนที่ยอมให้

F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้

f_b = หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้น

F_{cr} = หน่วยแรงอัดในแนวแกนที่จุดวิกฤติ

F_y = หน่วยแรงคราก

G = ค่าโมดูลัสการเฉือนของเหล็ก มีค่าเท่ากับ 0.8×10^6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย

$[k]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว (Local coordinate)

$[K]$ = สติฟเนสเมตริกซ์ในระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล (Global coordinate)

K = ตัวคูณประกอบของความยาวประสิทธิผล

หน่วยวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

KL = ความยาวประสิทธิผลขององค์อาคารที่จะเกิดการโก่งเดาะ

L = ความยาวขององค์อาคาร

L = น้ำหนักบรรทุกจร เป็นน้ำหนักที่โครงข้อแข็งจะต้องบรรทุกเมื่ออยู่ในสภาพใช้งาน

L_b = ความยาวปราศจากการยึดด้านข้าง

L_c = ความยาวปราศจากการยึดด้านข้างของหน้าตัดอัดแน่น

L_{cr} = ความยาววิกฤติ

P_a = แรงอัดที่ยอมให้

P_i = แรงในแนวแกนของแต่ละองค์อาคารที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างรวมเมื่อถูกแรงกระทำ

p_i = แรงในแนวแกนของแต่ละองค์อาคารเมื่อถูกแรงสมมุติ กระทำในทิศทางที่เกิดค่าการเคลื่อนตัวรวมสูงสุดในแต่ละกรณีของแรงที่กระทำกับโครงข้อแข็ง

Q = แรงสมมุติที่กระทำกับโครงข้อแข็ง มีค่าเท่ากับ 1 หน่วย

r = รัศมีไจเรชั่นของพื้นที่รอบแกนที่จะเกิดการโก่งเดาะ

$\{R\}$ = แรงปฏิกริยาที่จุดรองรับ

SI_i = เป็นค่าที่ดัชนีที่แสดงถึงองค์อาคารใดมีผลต่อการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อแข็ง (The Member's sensitivity index)

t_f = ความหนาของปีกคาน

t_w = ความหนาของแผ่นเอว

$\{u\}$ = เมตริกซ์การเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อแข็ง

W_E = งานภายนอก (External work)

W_I = งานภายใน (Internal work)

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

δ = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อแข็ง เป็นค่าที่ต้องการหา

$\delta_{a/w}$ = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงข้อแข็งที่ยอมให้ (Allowable displacement)

ศัพท์วิทยาการ

ค่าตัวประกอบเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวขององค์อาคาร	The Member's displacement participation factor
ค่าดัชนีความไว	Sensitivity index
ค่าการเคลื่อนตัว , ค่าการเปลี่ยนตำแหน่ง	Displacement
งานสมมุติ	Virtual work
สัดส่วนความชะลูด	Slenderness ratio

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย