การวิเคราะห์เชิงเวลาของโครงข้อแข็งระนาบคอนกรีตอัดแรงตามขั้นตอนการก่อสร้าง

นายชาติชาย ศรีศรัณยา

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-631-952-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16659910

TIME-DEPENDENT ANALYSIS OF PRESTRESSED CONCRETE PLANE FRAMES WITH STAGE CONSTRUCTION

Mr. Chatchai Srisarunya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1995

ISBN 974-631-952-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์เชิงเวลาของโครงข้อแข็งระนาบคอนกรีตอัดแรงตามขั้นตอนการก่อสร้าง
โดย	นายชาติชาย ศรีศรัณยา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

..... กรรมการ

(ดร.ธีรพงศ์ เสนจันทร์ณิไชย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ชาติชาย ศรีศรัณยา : การวิเคราะห์เชิงเวลาของโครงข้อแข็งระนาบคอนกรีตอัดแรงตามขั้นตอนการก่อสร้าง (TIME-DEPENDENT ANALYSIS OF PRESTRESSED CONCRETE PLANE FRAMES WITH STAGE CONSTRUCTION) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, 107 หน้า. ISBN 974-631-952-3

งานวิจัยนี้มุ่งที่จะพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงเวลาของโครงข้อแข็งระนาบคอนกรีตอัดแรงตามขั้นตอนการก่อสร้าง โดยพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจากการคืบ (Creep) และการหดตัว (Shrinkage) ของคอนกรีต รวมทั้งการเสื่อมลดแรงดึง (Prestress Loss) ของเหล็กเสริมแรงดึงสูง แบบจำลองชิ้นส่วนของโครงสร้างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ครอบคลุมชิ้นส่วนที่มีขนาดคงที่ ชิ้นส่วนที่มีขนาดไม่คงที่ที่มีหน้าตัดลาดเอียงเชิงเส้นและชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง ความเครียดจากการคืบถูกสมมติให้แปรโดยตรงกับหน่วยแรงที่คงค้าง การวิเคราะห์โครงสร้างใช้หลักการของการแก้ปัญหาความเครียดเริ่มแรก (Initial Strain Problem) โดยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement Method) และใช้หลักการของโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ (Age-Adjusted Effective Modulus Method) ในการคำนวณสติฟเนสของโครงสร้างในช่วงเวลาที่พิจารณา

จากตัวอย่างโครงสร้างที่ทำการวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยวิธีแรง (Force Method) พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ตรงกัน ผลการปรับกระจายของแรงภายในชิ้นส่วนในระยะยาวอาจมีค่าสูงมากถึงร้อยละ 80 ในกรณีที่ชิ้นส่วนของโครงสร้างทำจากวัสดุต่างชนิดกัน เช่น เหล็กกับคอนกรีต นอกจากนี้การก่อสร้างโครงสร้างเป็นขั้นตอนตามเวลา มีผลทำให้ชิ้นส่วนเกิดการคืบหรือการหดตัวไม่พร้อมกัน ทำให้เกิดการปรับกระจายของแรงภายในชิ้นส่วนตามเวลา ซึ่งจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงในอาคารสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต ชาติชาย ศรีศรัณยา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C415086 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: TIME DEPENDENT / PRESTRESSED CONCRETE / STAGE CONSTRUCTION / CREEP
CHATCHAI SRISARUNYA : TIME-DEPENDENT ANALYSIS OF PRESTRESSED CONCRETE PLANE FRAMES WITH STAGE CONSTRUCTION. THESIS ADVISOR : PROF. PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D. 107 pp. ISBN 974-631-952-3

The objective of this study was to present a computer program for time-dependent analysis of prestressed concrete plane frames with stage construction, accounting for the time dependent effects of creep and shrinkage in concrete, and prestress losses in prestressing steel. Developed in this study were a prismatic element, a non-prismatic element with linearly tapered depth and a prestressed concrete element. The computational approach treated the time dependent strains as initial strains and assumed that concrete creep strain was proportional to the sustained stress. The effective structural stiffness matrix during the period of interest was formed by using an age-adjusted effective modulus in the displacement formulation method.

Numerical examples presented demonstrate the high accuracy of the computer program developed compared with the force method approach. In the case of structures whose members are made of different materials such as steel and concrete, the resulting redistribution of internal forces could be as high as 80 %. Furthermore, stage construction produces different creep and shrinkage strains in different parts of the structures, resulting in time dependent redistribution of internal forces which must be taken into consideration for important structures.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต ชาติชาย ศรีศรุณญา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างมาก ตลอดจนได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล และ ดร.ธีรพงศ์ เสนจันทร์ณิไชย ที่ได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จเรียบร้อย รวมทั้งขอขอบคุณ คุณภพศักดิ์ ปานสีทอง ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และคอยช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ คุณประโยชน์อันพึงจะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ครูและอาจารย์ทุกท่าน เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณในการอบรมให้การศึกษาแก่ผู้เขียนตลอดมา

ชาติชาย ศรีศรัณยา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

คำอธิบายสัญญลักษณะและคำย่อ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

ความนำ 1

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 1

วัตถุประสงค์ 3

ขอบข่ายของงานวิจัย 4

ข้อสมมุติฐานที่ใช้ 4

2. โมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ 6

วิธีโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ 6

3. การวิเคราะห์โครงสร้างตามเวลา 13

ความนำ 13

การวิเคราะห์ขณะรับน้ำหนักบรรทุกทันทีทันใด 14

การวิเคราะห์เชิงเวลา 15

การวิเคราะห์เนื่องจากการเสื่อมลดแรงดึง 19

4. แบบจำลองชิ้นส่วน 23

ชิ้นส่วนที่มีหนาดไม่คงที่ 23

ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. ตัวอย่างการวิเคราะห์ 29

ความนำ 29

ตัวอย่างที่ 1 29

ตัวอย่างที่ 2 32

ตัวอย่างที่ 3 35

ตัวอย่างที่ 4 40

6. สรุปผลการวิจัย 55

รายการอ้างอิง 56

ภาคผนวก 58

ก รายละเอียดข้อมูลและผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 1 59

ข รายละเอียดข้อมูลและผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 64

ค รายละเอียดข้อมูลและผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 3 69

ง รายละเอียดข้อมูลและผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 4 79

จ รายละเอียดการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 96

ฉ รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 102

ประวัติผู้เขียน 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1 เปรียบเทียบค่าการปรับกระจายโมเมนต์ดัดที่ข้อต่อหมายเลข 3 ที่เวลา 10000 วัน สำหรับตัวอย่างที่ 3 36

5.2 ข้อมูลวัสดุของชิ้นส่วนโครงสร้าสะพานพระรามเจ็ด 48

5.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดรวมที่เวลาสุดท้าย ที่ตอม่อในน้ำ สำหรับตัวอย่างที่ 4 52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับเวลาและความเครียดกับเวลา ซึ่งความเครียดทั้งหมดที่เวลาใด ๆ หาได้จากการรวมกันได้โดยตรง	5
2.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงแปรเปลี่ยนกับเวลาและความเครียดสุทธิที่เกิดจากหน่วยแรงแปรเปลี่ยนกับเวลา	11
2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดจากหน่วยแรงคงที่และหน่วยแรงแปรเปลี่ยนกับเวลา	12
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โครงสร้างตามเวลา	20
3.2	แสดงทิศทางบวกของแรงกระทำและการเคลื่อนที่ของข้อต่อ	21
3.3	แสดงทิศทางบวกของแรงภายในชิ้นส่วน	21
3.4	แสดงวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างตามเวลาเนื่องจากผลของการคืบ	22
4.1	แสดงลักษณะชิ้นส่วนขนาดไม่คงที่ชนิดคานที่มีหน้าตัดลาดเอียง	27
4.2	แสดงชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงที่ใช้ในงานวิจัยนี้	28
5.1	ตัวอย่างที่ 1	30
5.2	ผลรวมโมเมนต์ดัดที่เวลาสุดท้ายตัวอย่างที่ 1	31
5.3	ตัวอย่างที่ 2	33
5.4	ผลรวมโมเมนต์ดัดที่เวลาสุดท้ายตัวอย่างที่ 2	34
5.5	ตัวอย่างที่ 3	37
5.6	แบบจำลองโครงสร้างตัวอย่างที่ 3 ในกรณีที่ใช้แบบจำลองชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง	38
5.7	ผลรวมโมเมนต์ดัดที่เวลาสุดท้ายตัวอย่างที่ 3 ในกรณีที่ใช้แบบจำลองชิ้นส่วนแบบคาน	39
5.8	ตัวอย่างที่ 4 สะพานพระรามเจ็ด	44
5.9	แบบจำลองโครงสร้างสะพานพระรามเจ็ด	45
5.10	แผนภาพแสดงขั้นตอนการก่อสร้างสะพานพระรามเจ็ด	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.11	การวางเหล็กเสริมอัดแรงคานสะพาน	47
5.12	แสดงผลรวมการเปลี่ยนตำแหน่งที่เวลาสุดท้ายตัวอย่างที่ 4	53
5.13	แสดงผลรวมโมเมนต์ดัดที่เวลาสุดท้ายตัวอย่างที่ 4	54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณะและคำย่อ

a	=	ค่าคงที่
A	=	พื้นที่หน้าตัด
A_a, A_b	=	พื้นที่หน้าตัดที่ปลายข้างซ้ายและข้างขวา
b	=	ค่าคงที่
E	=	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชิ้นส่วน
$E_c(t_o)$	=	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อายุ t_o
$\bar{E}_c(t,t_o)$	=	ค่าโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุในช่วงเวลา t_o จนถึงเวลา t
$[f]$	=	เฟลกซิบิลิตีเมตริกซ์ของชิ้นส่วน
fr_i	=	แรงเสียดทานตัวที่ i
$F1, F2$	=	แรงอัดที่ปลายชิ้นส่วนทั้งสองข้าง จากการอัดแรง
H_a, H_b	=	ความลึกที่ปลายข้างซ้ายและข้างขวา
I	=	โมเมนต์อินเนอร์เชีย
I_a, I_b	=	โมเมนต์อินเนอร์เชียที่ปลายข้างซ้ายและข้างขวา
I_x	=	โมเมนต์อินเนอร์เชียที่ระยะใด ๆ
k	=	สัมประสิทธิ์ความฝืดเนื่องจากความคด ต่อหน่วยความยาว
$[k]_{t_o}$	=	สติฟเนสย่อยของชิ้นส่วนที่เวลา t_o
$[k]_{(t,t_o)}$	=	สติฟเนสย่อยของชิ้นส่วนในช่วงเวลา t_o จนถึงเวลา t
$[K]_{t_o}$	=	สติฟเนสรวมของระบบโครงสร้างที่เวลา t_o
$[K]_{(t,t_o)}$	=	สติฟเนสรวมของระบบโครงสร้างในช่วงเวลา t_o จนถึงเวลา t
ΔL	=	ระยะยืดหดตัวตามแนวแกน
L	=	ความยาวของชิ้นส่วน
m	=	ตัวประกอบรูปร่าง
$m1, m2$	=	โมเมนต์ดัดในชิ้นส่วนเนื่องจากโมเมนต์ดัด 1 หน่วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณะและคำย่อ (ต่อ)

$\Delta M1, \Delta M2$	=	โมเมนต์ที่ใช้ยึดรั้งที่ปลายชิ้นส่วนทั้งสองข้าง
n	=	ตัวประกอบรูปร่าง
N	=	จำนวนชิ้นส่วนย่อย
NM	=	จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด
n1	=	แรงตามแนวแกนชิ้นส่วนเนื่องจากแรง 1 หน่วย
$\Delta N1, \Delta N2$	=	แรงตามแนวแกนที่ใช้ยึดรั้งที่ปลายชิ้นส่วนทั้งสองข้าง
r	=	ค่าคงที่ของชิ้นส่วน
$\{R\}_{t_0}$	=	แรงกระทำที่ข้อต่อที่เวลา t_0
$\{\Delta R\}_{(t,t_0)}$	=	แรงกระทำที่ข้อต่อในช่วงเวลา t_0 จนถึงเวลา t
$R(t,t_0)$	=	ฟังก์ชันการคลายตัว
$\{S\}_{t_0}$	=	แรงภายในชิ้นส่วนที่เวลา t_0
$\{S\}_t$	=	แรงภายในชิ้นส่วนที่เวลา t
$\{\Delta S\}_{(t,t_0)}$	=	แรงภายในชิ้นส่วนที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลา t_0 จนถึงเวลา t
$\{U\}_{t_0}$	=	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ข้อต่อ ที่เวลา t_0
$\{U\}_t$	=	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ข้อต่อ ที่เวลา t
$\{\Delta U\}_{(t,t_0)}$	=	การเปลี่ยนตำแหน่งที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลา t_0 จนถึงเวลา t
$\Delta V1, \Delta V2$	=	แรงเฉือนที่ใช้ยึดรั้งที่ปลายชิ้นส่วนทั้งสองข้าง
t	=	เวลาสิ้นสุด t
t_0	=	เวลาเริ่มต้น t_0
α	=	มุมลาดที่เปลี่ยนไประหว่างปลายทั้งสองของเหล็กเสริมอัดแรงที่หน้าตัดที่พิจารณา
χ_c	=	ตัวประกอบปรับแก้
$\Delta\theta1, \Delta\theta2$	=	มุมที่ปลายชิ้นส่วนทั้งสองข้างที่เปลี่ยนไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณะและคำย่อ (ต่อ)

$x(t,t_o)$	=	ค่าสัมประสิทธิ์อายุ
ϕ_u	=	ค่าการคืบสุดท้าย
$\phi(t,t_o)$	=	ค่าสัมประสิทธิ์การคืบในช่วงเวลา t_o จนถึงเวลา t
ε_{ci}	=	ความเครียดที่เกิดขึ้นทันทีทันใด ที่เวลา t_o
$\varepsilon_{cc}(t)$	=	ความเครียดคืบที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา t_o จนถึงเวลา t
$\varepsilon_o(t_o)$	=	ความเครียดอีลาสติคตามแนวแกน ที่เวลา t_o
$\varepsilon_{cs}(t,t_o)$	=	ความเครียดการหดตัวที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา t_o จนถึงเวลา t
$\Delta\varepsilon_o(t,t)_o$	=	การเปลี่ยนแปลงความเครียดตามแนวแกนที่เปลี่ยนไปในในช่วงเวลา t_o จนถึงเวลา t
$\sigma_c(t_o)$	=	หน่วยแรงที่เวลา t_o
$\Delta\sigma(t)$	=	หน่วยแรงแปรเปลี่ยนที่เวลา t
$\psi_o(t_o)$	=	ความเครียดการดัดอีลาสติค ที่เวลา t_o
$\Delta\psi_o(t,t_o)$	=	การเปลี่ยนแปลงความเครียดการดัดที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลา t_o จนถึงเวลา t
μ	=	สัมประสิทธิ์ความฝืดเนื่องจากความโค้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย