การวิเคราะห์เชิงเวลาของ
โครงสร้างคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง

นายภพศักดิ์ ปานสีทอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-621-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015923
I17610687

TIME DEPENDENT ANALYSIS OF PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURE BY THE DISPLACEMENT METHOD

Mr. Pobsak Phansithong

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

1989

ISBN 974-576-621-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์เชิงเวลาของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง

โดย นายภพศักดิ์ ปานสีทอง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. มานะ มหาสุวีระชัย)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภพศักดิ์ ปานสีทอง : การวิเคราะห์เชิงเวลาของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง (TIME DEPENDENT ANALYSIS OF PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURE BY THE DISPLACEMENT METHOD) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ , อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. มานะ มหาสุวีระชัย , 113 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการเชิงเส้นในการวิเคราะห์พฤติกรรมระยะยาวในช่วงใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง แบบหน้าตัดไม่แตกร้าว (Uncracked section) ภายใต้ผลการคืบ (Creep) การหดตัว (Shrinkage) และ การลดเสื่อมของแรงอัด (Loss of prestress) โดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างตามขั้นตอนการก่อสร้าง การวิเคราะห์กระทำแบบเป็นขั้น ๆ (Step-by-step) โดยใช้วิธีการสติฟเนสโดยตรง(Direct stiffness method) การวิเคราะห์ตามเวลากระทำโดยคิดปัญหาการคืบ และ การหดตัวของคอนกรีตที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ เป็นปัญหาความเครียดแรกเริ่ม และถือว่าการลดเสื่อมของแรงอัดเป็นค่าที่รู้(หาโดยข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง) แล้ว อาศัยหลักการของโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ (Age-adjusted effective modulus) ซึ่งเสนอโดย Trost และ Bazant ความเครียดแรกเริ่มที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นความเค้นแรกเริ่ม (Initial stress) หลังจากนั้นใช้วิธีการสติฟเนสโดยตรงสังเคราะห์สติฟเนสเมตริกซ์โดยใช้ค่าโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุเป็นค่าโมดูลัสในช่วงเวลาที่กำลังวิเคราะห์ การเปลี่ยนตำแหน่งและแรงภายในที่เวลาใดๆ ได้จากการรวมกันเชิงเส้น (Superposition) ของผลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาก่อนๆทั้งหมด

จากตัวอย่างการคำนวณแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความถูกต้องและความสามารถในการใช้วิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ของวิธีการที่ใช้นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

POBSAK PHANSITHONG : TIME DEPENDENT ANALYSIS OF PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURE BY THE DISPLACEMENT METHOD. THESIS ADVISOR : PROF. PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D. ,CO-ADVISOR : MANA MAHASUVEERACHAI, Ph.D. 113 PP.

This thesis presents a method of linear analysis for the long term behaviour in the serviceability state of uncracked prestressed concrete structures under the effects of creep and shrinkage in concrete and loss of prestress , considering change of the statical system at each construction stage . By assuming that the loss of prestress is known (from a seperate computation following appropriate codes of practice) and using the age-adjusted effective modulus concept proposed by Trost and Bazant ,the initial strains due to time dependent effects are converted to initial stresses ; thereafter , the direct stiffness method is used to form the stiffness matrix of the system with age-adjusted effective modulus taken as the effective elastic modulus in the step by step analysis. Displacements and internal forces at any time are obtained by linear superposition of the values in successive time intervals.

Numerical examples are given to demonstrate the accuracy and versatility of the method employed

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งกรุณาตรวจสอบ และ แก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. มานะ มหาสุวีระชัย ที่ได้ให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ตลอดจนความรู้และข้อคิดต่าง ๆ และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ และศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมาก

สุดท้ายนี้ คุณประโยชน์อันพึงจะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบให้แก่บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ทุกท่าน เพื่อน้อมรำลึกถึงพระคุณในการอบรมให้การศึกษาแก่ผู้เขียนตลอดมา

ภพศักดิ์ ปานสีทอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ฌ

รายการรูปประกอบ ..... ญ

สัญญลักษณ์ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
   - 1.1 ความนำ 1
   - 1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2
   - 1.3 วัตถุประสงค์ 4
   - 1.4 ขอบข่ายของงานวิจัย 5
   - 1.5 ข้อสมมุติฐานที่ใช้ 5

2. โมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ 6
   - 2.1 ความนำ 6
   - 2.2 วิธีโมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ 6

3. การวิเคราะห์ตามเวลาโดยวิธีการรวมสติฟเนสโดยตรง 11
   - 3.1 วิธีการสติฟเนสโดยตรง 11
   - 3.2 การวิเคราะห์ตามเวลา 12

4. ตัวอย่างและการวิเคราะห์ 19
   - 4.1 บทนำ 19
   - 4.2 ตัวอย่างที่ 1 19
   - 4.3 ตัวอย่างที่ 2 20
   - 4.4 ตัวอย่างที่ 3 21

สารบัญ

หน้า

5. สรุปผลการวิจัย 24

เอกสารอ้างอิง 25

ภาคผนวก ก 48

ภาคผนวก ข 51

ภาคผนวก ค 94

ภาคผนวก ง 97

ประวัติผู้เขียน 113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ค่าคงที่ A และ B 28

4.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ (ตัวอย่างที่ 1) 28

4.2 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่เวลา 30 ปี ระหว่าง งานวิจัยนี้ และ วิธีของ Dilger (ตัวอย่างที่ 1) 28

4.3 คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ (ตัวอย่างที่ 2) 29

4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การคืบในช่วงเวลาต่าง 29

4.5 ค่าสัมประสิทธิ์อายุในช่วงเวลาต่าง 30

4.6 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ฐานหมายเลข 2 , M2 ที่เพิ่มขึ้นที่เวลา 70 วัน ระหว่างงานวิจัยนี้ และ วิธีของ Dilger (ตัวอย่างที่ 2) 30

4.7 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ฐานที่เวลา 30 ปี ระหว่าง งานวิจัยนี้ และ วิธีของ Dilger (ตัวอย่างที่ 2) 31

4.8 คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ (ตัวอย่างที่ 3) 32

4.9 ระยะเยื้องศูนย์ที่ขั้วของลวดอัดแรงวัดจากแนวแกนสเทิน 33

4.10 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่เวลา 30 ปี ระหว่าง งานวิจัยนี้ และ วิธีของ ดร.มานะ ในกรณีคิด นน.คานอย่างเดียว(ตัวอย่างที่ 3) 34

4.11 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่เวลา 30 ปี ระหว่าง งานวิจัยนี้ และ วิธีของ ดร.มานะ ในกรณี นน.คาน+แรงอัด+แรงลดเสื่อม (ตัวอย่างที่ 3) . 34

4.12 ค่าโมเมนต์ที่เวลา 30 ปี เมื่อคิด ผลของ การคืบ และ การหดตัวของ คอนกรีตเทียบกับ ผลของการคืบเพียงอย่างเดียว(ตัวอย่างที่ 3) 35

4.13 ค่าสัมประสิทธิ์ k_4 และ k_4 35

4.14 ค่าสัมประสิทธิ์ k_5 36

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	การเปลี่ยนแปลงของความเค้นและความเครียดเนื่องจากการคืบ.....	37
2.2	ความหมายของสัมประสิทธิ์อายุในเทอมของความเครียด.....	37
2.3	ความหมายของสัมประสิทธิ์อายุในเทอมของความเค้น.....	37
3.1	ทิศทางบวกของแรงในระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล.....	38
3.2	ผลของการคืบและการหดของคอนกรีตที่มีต่อการกระจายความเครียดบนหน้าตัด.....	38
3.3	แรงยึดรั้งเนื่องจากผลของการคืบและการหดตัวของคอนกรีตในช่วงเวลา t_i ถึง t_{i+1}	38
3.4	หน่วยแรงดึงในลวดอัดแรงที่เวลา ใด ๆ.....	39
4.1	ตัวอย่างที่ 1.....	39
4.2	โมเมนต์ไดอะแกรมที่เวลา 30 ปี เทียบกับ โมเมนต์อีลาสติก (ตัวอย่างที่ 1).....	40
4.3	การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางเทียบกับเวลา (ตัวอย่างที่ 1).....	40
4.4	ตัวอย่างที่ 2.....	41
4.5	โมเมนต์ไดอะแกรมที่เวลา 30 ปี เทียบกับ โมเมนต์อีลาสติก (ตัวอย่างที่ 2).....	42
4.6	ตัวอย่างที่ 3.....	43
4.7	การวางลวดอัดแรง(ตัวอย่างที่ 3)	44
4.8	การจำลองโครงสร้าง(ตัวอย่างที่ 3)	45
4.9	โมเมนต์ไดอะแกรมที่เวลา 30 ปี เทียบกับ โมเมนต์อีลาสติก (ตัวอย่างที่ 3)	46
4.10	โครงสร้างโปรแกรม	47

สัญญลักษณ์

A	=	พื้นที่หน้าตัด
a	=	เมตริกซ์แปลงของการเปลี่ยนตำแหน่ง
E	=	โมดูลัสอีลาสติก
E''	=	โมดูลัสเทียบเท่าปรับแก้อายุ
$ER(t,to)$	=	ความเค้นที่เวลา t เมื่องจำกัดความเครียด 1 หน่วย ที่เวลา t_o ถึง t
$\Delta F^{c,s}$	=	แรงยึดรั้งสมมุติเนื่องจากการคืบ และการหดตัวของคอนกรีต
ΔF^{loss}	=	แรงยึดครั้งสมมุติเนื่องจากการลดเสื่อมของแรงอัด
I	=	โมเมนต์ของความเฉื่อย
$J(t,t')$	=	ความเครียดที่เวลา t เนื่องจากความเค้น 1 หน่วยกระทำที่เวลา t'
K	=	สติฟเนสรวมของโครงสร้าง
K''	=	สติฟเนสปรับแก้อายุของโครงสร้าง
k	=	สติฟเนสของชิ้นส่วนในระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล
k''	=	สติฟเนสปรับแก้อายุของชิ้นส่วนในระบบโคออร์ดิเนตโกลบัล
k	=	สติฟเนสของชิ้นส่วนในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว
k''	=	สติฟเนสปรับแก้อายุของชิ้นส่วนในระบบโคออร์ดิเนตประจำตัว
L	=	ความยาวของชิ้นส่วน
ΔL	=	ระยะยืดหดตัวตามแนวแกน
$M1, M2$	=	โมเมนต์ดัด
$m1, m2$	=	โมเมนต์ภายในที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัด 1 หน่วย
$N1, N2$	=	แรงตามแนวแกน
n	=	แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก แรง 1 หน่วยกระทำที่ขั้ว
P	=	แรงกระทำภายนอกที่ข้อต่อ
P_o	=	แรงยึดแน่นปลาย
s	=	แรงภายในของชิ้นส่วน
s_o	=	แรงภายในของชิ้นส่วนในสภาวะยึดแน่น
t_{i+1}	=	เวลาที่ช่วง i+1
t_i	=	เวลาที่ช่วง i
U	=	โคออร์ดิเนตของการเปลี่ยนตำแหน่ง
$V1, V2$	=	แรงเฉือน

ϵ	=	ความเครียดตามแนวแกน
ϵ''	=	ความเครียดไม่ยืดหยุ่น
ϵ°	=	ความเครียดไม่ยืดหยุ่นที่เป็นอิสระกับหน่วย แรงกระทำ
$\epsilon o, \epsilon 1$	=	ค่าคงที่
$\epsilon^{c,s}$	=	ความเครียด เนื่องจากการคืบและการหดตัวของคอนกรีต
ϵ^{s}	=	ความเครียดเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต
σ	=	ความเค้น
$\theta 1, \theta 2$	=	มุมแอ่นที่ปลายของชิ้นส่วน
χ	=	สัมประสิทธิ์อายุ
ψ	=	ความโค้งของหน้าตัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย