4

ระเบียบวิธีการทำซ้ำสำหรับการวิเคราะห์โครงตาข่ายเคเบิลชนิดไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต

นาย เสริมสันต์ ตั้งวิรุฬห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-192-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014138

i17431683

AN ITERATIVE METHOD FOR THE ANALYSIS OF GEOMETRIC NONLINEAR CABLE NETS

Mr. Sermsun Tangwiroon

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

1988

ISBN 974-569-192-5

Thesis Titles AN ITERATIVE METHOD FOR THE ANALYSIS OF GEOMETRIC NONLINEAR CABLE NETS

By Mr. Sermsun Tangwiroon

Department Civil Engineering

Thesis Advisor Professor Panitan Lukkunaprasit, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

..... Dean of Graduate School

(Professor Thavron Vajrabhya, Ph.D.)

Thesis Committee

..... Chairman

(Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.)

..... Thesis Advisor

(Professor Panitan Lukkunaprasit, Ph.D.)

..... Member

(Associate Professor Karoon Chandrangsu, Ph.D.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลเอกหลวง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เสริมสันต์ ตั้งวิรุฬห์ : ระเบียบวิธีการทำซ้ำสำหรับการวิเคราะห์โครงตาข่ายเคเบิลชนิดไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิต (AN ITERATIVE METHOD FOR THE ANALYSIS OF GEOMETRIC NONLINEAR CABLE NETS) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, 73 หน้า.

โดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างที่มีเคเบิลเป็นองค์ประกอบมีพฤติกรรมชนิดไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิตภายใต้น้ำหนักบรรทุกซึ่งจำเป็นต้องใช้วิธีการทำซ้ำในการวิเคราะห์ วิธีการทำซ้ำที่เป็นที่นิยมใช้อย่างมากในการวิเคราะห์หาคำตอบคือวิธี Newton-Raphson มีวิธีการทำซ้ำอีกหลายวิธีซึ่งได้พัฒนาจากวิธี Newton-Raphson เพื่อเร่งอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบ อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวเช่นวิธี Kar อาจไม่ลู่เข้าสู่คำตอบที่ถูกต้องในปัญหาชนิดไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิตบางอัน ทำให้ต้องใช้วิธีแบ่งย่อยน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้

ในการศึกษานี้ ได้เสนอวิธีการทำซ้ำใหม่สำหรับปรับปรุงการลู่เข้าสู่คำตอบของปัญหาเคเบิลชนิดไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิตอย่างมาก วิธีการทำซ้ำที่เสนอนี้มีจุดเด่นที่ให้วิธีการง่าย ๆ ในการประมาณสถานะสมดุลที่ดีในรอบแรกของการทำซ้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการประมาณสถานะสมดุลดังกล่าวที่ผิดพลาดไปมากอาจทำให้การลู่เข้าสู่คำตอบช้า หรือแม้กระทั่งเกิดปัญหาเกี่ยวกับตัวเลขการคำนวณขยายเกินขีดความสามารถของเครื่อง (numerical overflow) ในปัญหาที่มีความไร้เชิงเส้นทางเรขาคณิตมาก ๆ

วิธีวิเคราะห์ที่เสนอนี้ ได้นำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาเคเบิลเพื่อแสดงประสิทธิภาพในแง่ของความเสถียรและอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบ โดยเปรียบเทียบกับวิธี Newton-Raphson และวิธี Kar ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า วิธีที่เสนอนี้มีประสิทธิภาพเหนือกว่าสองวิธีข้างต้นเมื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาโครงตาข่ายเคเบิลชนิดที่ไม่มีแรงดึงเริ่มต้น จนกระทั่งมีแรงดึงเริ่มต้นพอประมาณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

SERMSUN TANGWIROON : AN ITERATIVE METHOD FOR THE ANALYSIS OF GEOMETRIC NONLINEAR CABLE NETS. THESIS ADVISOR : PROF.PANITAN LUKKUNAPRASIT ,Ph.D. 73 pp.

Generally, cable structures possess geometric nonlinearity in which an iterative procedure is inevitably needed. An iterative scheme frequently used for solving geometric nonlinear problems is the Newton-Raphson method. Many variants of the Newton-Raphson schemes have been developed which are designed to accelerate the rate of convergence of the numerical solution. However, such iterative methods (e.g. the Kar method) may not even converge in some highly geometric nonlinear problem and an incremental load procedure must be employed

A simple iterative technique is presented for improving the convergence of the solution of strong geometric nonlinear problems. The proposed iterative technique features a simple procedure to assess a good trial equilibrium state at the first cycle of iteration since a poor estimate of the state may lead to slow convergence or even numerical overflow in highly geometric nonlinear problems.

Numerical examples are presented to demonstrate the effectiveness of the proposed technique in view of stability and rate of convergence in comparision with the Newton-Raphson and Kar methods. Results of analyses reveal clearly the superiority of the new scheme over the others for cables with zero to moderate level of prestress.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

Acknowledgments

I have recieved a great deal of assistance, constructive comments, encouragement and inspiration from Professor Dr.Panitan Lukkunaprasit. Thanks are also due to Professor Dr.Ekasit Limsuwan and Associate Profsessor Dr.Karoon Chandrangsu who devoted their time for interesting discussion, technical information and encouragement.

Finally, the author is greatful to his parents for their encouragement and supporting during his study.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TABLE OF CONTENTS

Page

Title Page in Thai.....i

Title Page in English.....ii

Thesis Approval.....iii

Abstract in English.....iv

Abstract in Thai.....v

Acknowledgments.....vi

Table of Contents.....vii

List of Tables.....ix

List of Figures.....xi

CHAPTER

I. INTRODUCTION.....1

Objectives.....2

Assumptions.....3

Literature Review.....3

II. FORMULATION OF THE TWO-NODE CATENARY ELEMENT.....6

Basic Equations.....6

Flexibility Iteration of Elastic Catenary Element.....8

Formulation of Tangent Stiffness Matrix and Element End Forces.....11

Flow Chart for Flexibility Iterative Process.....14

III. THE PROPOSED ITERATIVE TECHNIQUE.....15

Newton-Raphson Method.....15

Underrelaxation Method.....17

Averaging Procedure.....17

TABLE OF CONTENTS (cont.)

Page

Krishna Modified Newton-Raphson Method.....18

Kar Modified Newton-Rapfson Method.....18

The Proposed Iterative Technique.....19

Convergence Criteria.....20

IV. NUMERICAL EXAMPLES.....22

Example Problem 1.....23

Example Problem 2.....24

Example Problem 3.....25

Example Problem 4.....26

Example Problem 5.....28

Example Problem 6.....29

V. DICUSSION AND CONCLUSION.....30

Conclusion.....31

REFERENCES.....32

APPENDIX.....34

Description of the Additional Program beyond NONSAP.....34

VITA.....73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

Table	Title	Page
4.1	Data of EXAMPLE PROBLEM 1	36
4.2	Relation between Z-displacement at node 2 (ft.) and cycle of iteration, EXAMPLE PROBLEM 1	37
4.3	Final displacements at node 2, EXAMPLE PROBLEM 1	38
4.4	Final Z-displacement at node 2 at the end of each load step, EXAMPLE PROBLEM 2	39
4.5	Data of EXAMPLE PROBLEM 3	40
4.6	Relation between Z-displacement at node 4 (ft.) and cycle of iteration, EXAMPLE PROBLEM 3	42
4.7	Final displacements at node 4, EXAMPLE PROBLEM 3	43
4.8	Results of analyses using various number of subdivisions of the first trial displacement, EXAMPLE PROBLEM 3	44
4.9	Data of EXAMPLE PROBLEM 4	45
4.10	Relation between Z-displacement at node 3 (ft.) and cycle of iteration, EXAMPLE PROBLEM 4	47
4.11	Final displacements at nodes 3, 5, 6, 7, 8 and 9, EXAMPLE PROBLEM 4	48
4.12	Data of EXAMPLE PROBLEM 5	50
4.13	Relation between Z-displacement at node 8 (inch) and cycle of iteration, EXAMPLE PROBLEM 5	52
4.14	Final displacements at nodes 2, 4, 6 and 8, EXAMPLE PROBLEM 5	53
4.15	Data of EXAMPLE PROBLEM 6	54

LIST OF TABLES (cont.)

Table	Title	Page
4.16	Relation between Z-displacement at node 5 (ft.) and cycle of iteration, EXAMPLE PROBLEM 6	57
4.17	Final displacements at nodes 1, 2, 4 and 5, EXAMPLE PROBLEM 6	58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Figure	Title	Page
2.1	Cable element in local YZ plane	59
2.2	Cable configuration at step i	59
3.1	Load-displacement curve, NEWTON-RAPHSON METHOD	60
3.2	Load-displacement curve, UNDERRELAXATION METHOD	60
3.3	Load-displacement curve, KAR ITERATION PROCEDURE	61
3.4	THE PROPOSED ITERATIVE IMPROVEMENT	61
4.1	Isolated cable at self-weight shape, EXAMPLE PROBLEM 1,2	62
4.2	Speed of convergence of each iterative method, EXAMPLE PROBLEM 1	62
4.3	Speed of convergence of each iterative method, EXAMPLE PROBLEM 2	63
4.4	Cable net at plan view, EXAMPLE PROBLEM 3	64
4.5	Speed of convergence of each iterative method, EXAMPLE PROBLEM 3	64
4.6	Rate of convergence v.s. number of sudivisions of the first trial displacement, EXAMPLE PROBLEM 3	65
4.7	Displacement at the end of the first iterative cycle in case of small number of subdivisions, EXAMPLE PROBLEM 3	66
4.8	A syncastic net at plan view, EXAMPLE PROBLEM 4	67
4.9	Speed of convergence of each iterative method, EXAMPLE PROBLEM 4	68
4.10	Isolated prestressed cable, EXAMPLE PROBLEM 5	69

LIST OF FIGURES (cont.)

Figure	Title	Page
4.11	Speed of convergence of each iterative method, EXAMPLE PROBLEM 5	70
4.12	Saddle-shape cable net at plan view, EXAMPLE PROBLEM 6	71
4.13	Speed of convergence of each iterative method, EXAMPLE PROBLEM 6	72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย