

การวิเคราะห์โครงสร้างแข็งในช่วงอีลาสติกและพลาสติกโดยใช้เทคนิคของโครงสร้างย่อย



นายชัยโรจน์ จักรไพศาล

004081

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

I15512022

ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS OF FRAMES USING THE SUBSTRUCTUE TECHNIQUE

Mr. Chairote Jakpaisan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์โครงข้อแข็งในช่วงอีลาสติก-พลาสติกโดยใช้เทคนิคของ โครงสร้างย่อย
ชื่อนิสิต	นายชัยโรจน์ จักรไพศาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2523



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการไฟไนต์เอเลเมนต์สำหรับวิเคราะห์โครงข้อแข็งอีลาสติก-พลาสติกอย่างสมบูรณ์โดยใช้เทคนิคของโครงสร้างย่อย สมการของการเคลื่อนที่ของระบบโครงสร้างย่อยได้สร้างขึ้นจากการใช้หลักการของงานสมมติ การศึกษานี้ได้ใช้หุ่นจำลองอีลาสติกวิสโคพลาสติกชนิดไม่มีขอบเขตครากอย่างแน่ชัด ซึ่งนำไปสู่วิธีการที่สามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ที่ไม่อิสระกับระยะการเคลื่อนที่อิสระคงที่เสมอในขณะที่อยู่ในช่วงพลาสติก ตัวอย่างการวิเคราะห์ทางสถิตยศาสตร์แสดงว่าสามารถใช้วิธีนี้ทำนายค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยได้ผลละเอียดเพียงพอในทางปฏิบัติ และการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ก็สามารถหาการตอบสนองของโครงสร้างได้ดีโดยการใช้รูปแบบพิกัดการเคลื่อนที่ต่ำ ๆ เพียงไม่กี่รูปแบบเท่านั้น รูปแบบพิกัดสูง ๆ ที่มีความคลาดเคลื่อนมากไม่ควรรวมไว้ในการคำนวณ





## ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his deep appreciation to his advisor, Assoc. Prof. Dr. Panitan Lukkunaprasit, for his helpful supervision throughout this study. Thanks are also due to his Thesis Committee, Assoc. Prof. Dr. Vinit Chovichien, Asst. Prof. Dr. Karoon Chandrangsu and Asst. Prof. Thaksin Thepchatri.

This work is partially financed by The National Research Council of Thailand. Finally, the author is grateful to his parents and wife for their encouragement.

## TABLE OF CONTENTS

	Page
Title Page in Thai .....	i
Title Page in English .....	ii
Thesis Approval .....	iii
Abstract in Thai .....	iv
Abstract in English .....	v
Acknowledgement .....	vi
Table of Contents .....	vii
List of Figures .....	ix
List of Tables .....	xi
List of Symbols .....	xii
 CHAPTER	
I INTRODUCTION .....	1
II FINITE ELEMENT FORMULATION .....	5
2.1 Constitutive Relation for An Elastic-Viscoplastic Material .....	5
2.2 Incremental Equations of Motion of an Elastic- Viscoplastic System .....	7
2.3 Incremental Equations of Motion For the Substructured System .....	9
2.4 Simplified Displacement Transformation Matrix for Mass Condensation of a Planar Frame	16



	Page
III SOLUTION IN MODAL CO-ORDINATES FOR PLANAR FRAMES ..	18
3.1 Transformation to Modal Co-ordinates .....	18
3.2 Formulation in Terms of Stress Resultants For Planar Frames .....	19
3.3 Programming Technique in Evaluating the Reduced Internal Static Forces .....	22
3.4 Convergence Criteria .....	23
IV NUMERICAL EXAMPLES AND RESULTS .....	24
4.1 Static Collapse Load of a Vierendeel Girder ...	24
4.2 Five-Story Frame Subjected to a Sinusoidal Ground Acceleration .....	26
4.3 Ten-Story Frame Subjected to a Sinusoidal Ground Acceleration .....	28
4.4 Twenty-Story Frame Subjected to 1940 EL Centro Earthquake .....	29
V CONCLUSIONS .....	32
REFERENCES .....	33
FIGURES .....	36
TABLES .....	49
VITA .....	54



## LIST OF FIGURES

Figure	Title	Page
1	The $k^{\text{th}}$ Substructure	36
2(a)	Example 1: Vierendeel Girder - Geometry and Loading	36
2(b)	do. - Vertical Displacement at Mid Span	37
2(c)	do. - Error in Vertical Reactions	37
2(d)	do. - Collapse Mechanism	38
3(a)	Example 2: Five-Story Frame - Geometry	38
3(b)	do. - Full System Model	38
3(c)	do. - Substructure Model	38
3(d)	do. - Response of Moment at the End of Second Floor Beam	39
4(a)	Example 3: Ten-Story Frame - Geometry	40
4(b)	do. - Full System Model	40
4(c)	do. - Model 10 A	40
4(d)	do. - Model 10 B	40
4(e)	do. - Horizontal Displacement Response at Top Story of the Full System Analyses	41
4(f)	do. - Horizontal Displacement Response at Top Story	42
4(g)	do. - Response of Moment at Column Base	43

Figure	Title	Page
4(h)	Example 3: Ten-Story Frame - Response of Moment at the End of Second Floor Beam	44
5(a)	Example 4: Twenty-Story Frame - Geometry	45
5(b)	do. - Full System Model	45
5(c)	do. - Model 20 A	45
5(d)	do. - Model 20 B	45
5(e)	do. - Horizontal Displacement Response at Top Story	46
5(f)	do. - Response of Moment at the End of Exterior Second Floor Beam	47
5(g)	do. - Response of Base Moment of Interior Column	48

## LIST OF TABLES

Table	Title	Page
1	Example 2: Member Properties for the Five Story Frame	49
2	Example 2: Natural Periods (in seconds) and Errors for the Five-Story Frame	49
3	Example 2: Maximum Horizontal Displacement at Top Story and Maximum Normalized Moment at the End of Second Floor Beam of the Five-Story Frame	50
4	Example 3: Natural Periods (in seconds) and Percentage Errors (in Parentheses) for the Ten-Story Frame	50
5	Example 3: Maximum Horizontal Displacement at Top Story and Maximum Normalized Moment at Column Base of the Ten-Story Frame.	51
6	Example 4: Member Properties for the Twenty-Story Frame	51
7	Example 4: Natural Periods (in seconds) and Percentage Errors (in Parentheses) for the Twenty-Story Frame	52
8	Example 4: Maximum Horizontal Displacement at Top Story and Maximum Normalized Moment at Left End of Exterior Second Floor Beam of the Twenty-Story Frame	53
9	Example 4: C.P.U. Time of the Twenty-Story Frame Analyses	53

## LISTS OF SYMBOLS

$A$	=	cross-sectional area
$[A]$	=	displacement transformation matrix defined in Eq. (23)
$[B]$	=	axial strain-nodal displacement transformation matrix
$d$	=	depth of cross section
$[D]$	=	matrix of elasticity constants
$E$	=	modulus of elasticity
$f_y$	=	yield function
$\{h\}$	=	nodal internal force vector
$\{h^*\}$	=	reduced nodal internal force vector
$I$	=	moment of inertia
$[I]$	=	identity matrix
$[K]$	=	elastic stiffness matrix
$[K^*]$	=	reduced stiffness matrix
$L$	=	length of an element
$M, M_o$	=	moment, plastic moment
$N$	=	axial force, matrix of displacement shape functions
$N_o$	=	plastic axial force
$[M]$	=	mass matrix
$[M^*]$	=	reduced mass matrix
$n$	=	a material constant, number of degree of freedom
$\{R\}$	=	external nodal force vector
$\{R^*\}$	=	reduced external force vector
$[T]$	=	defined in Eq. (61)
$k_T$	=	kinetic energies

- $t$  = time  
 $\{u\}$  = global nodal displacement vector  
 $u, v$  = local displacement at a point  
 $k_U$  = internal energies  
 $\delta \dot{U}$  = total rate of internal virtual work done  
 $\ddot{u}_g$  = ground acceleration  
 $v$  = volume of an element  
 $\delta \dot{W}_E$  = the rate of virtual work done by the external loads  
 $\{x\}$  = vector of modal coordinates  
 $x_j$  = modal coordinate associated with the  $j^{\text{th}}$  mode  
 $Z$  = plastic section modulus  
 $\delta$  = denotes the change between two successive iterations, virtual value  
 $\{^{k+1} \delta_R\}$  = defined in Eq. (44)  
 $\epsilon, \dot{\epsilon}$  = axial strain, axial strain rate  
 $\{\dot{\epsilon}\}$  = vector of the strain rate components  
 $\epsilon_1, \epsilon_2$  = convergence tolerance  
 $\rho$  = mass density  
 $\sigma, \sigma_0, \sigma_d$  = stress, static yield stress, dynamic yield stress  
 $\{\dot{\sigma}\}$  = the vectors of the stress rate components  
 $\{\dot{\sigma}\}^{(n)}$  = the nonlinear part due to viscoplastic flow  
 $\tau$  = a material constant  
 $\Delta$  = denotes the change during the time step  
 $\Delta F_j$  = defined in Eq. (50)  
 $\{\Delta h^{(n)}\}$  = incremental inelastic nodal force vector  
 $\Delta t$  = time step

$\{\eta\}$  = simplified displacement transformation matrix, defined in Eq. (46)

$[\phi]$  = matrix whose columns are the mode shapes associated with free vibration

$\{\phi_j\}$  = eigen vector associated with  $j^{\text{th}}$  mode

$\omega_j$  = angular frequency associated with  $j^{\text{th}}$  mode