

แบบจำลองชนิดความเครียดในระนาบสำหรับการวิเคราะห์ปฏิริยาร่วมของ  
ดิน-โครงสร้าง



นาย สุริยา ทศนียานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-578-434-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017187

PLANE STRAIN MODEL FOR SOIL – STRUCTURE  
INTERACTION ANALYSIS

Mr. Suriya Thusneeyanont

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974 – 578 – 434 – 6



Thesis Title      Plane Strain Model for Soil-Structure Interaction Analysis  
By                    Mr. Suriya Thusneeyanont  
Department        Civil Engineering  
Thesis Advisors   Professor Panitan Lukkunaprasit, Ph.D.                    (Chairman)  
                         Associate Professor Sutham Suriyamongkol, D.Eng.        (Member)  
                         Professor Thaksin Thepchatri, Ph.D.                            (Member)

---

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

*Thavorn Vajrabhaya*  
..... Dean of Graduate School  
(Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

*Ekasit Limsuwan*  
..... Chairman  
(Professor Ekasit Limsuwan, Ph.D.)

*Panitan Lukkunaprasit*  
..... Member  
(Professor Panitan Lukkunaprasit, Ph.D.)

*Sutham Suriyamongkol*  
..... Member  
(Associate Professor Sutham Suriyamongkol, D.Eng.)

*Thaksin Thepchatri*  
..... Member  
(Professor Thaksin Thepchatri, Ph.D.)

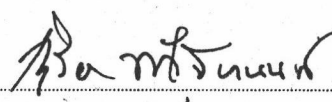
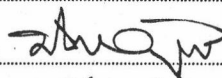
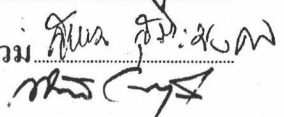
*Suthipoul Viwathanatepa*  
..... Member  
(Associate Professor Suthipoul Viwathanatepa, Ph.D.)

SURIYA THUSNEEYANONT : PLANE STRAIN MODEL FOR SOIL-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS. THESIS ADVISORS : PROF.PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D., ASSO. PROF.SUTHAM SURIYAMONGKOL AND PROF.THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D., 62 PP. ISBN 974-578-434-6

The schemes for solving soil-structure interaction problems by means of simplified two-dimensional plane strain models are examined. For foundation without pile, the simplified three-dimensional model proposed by Hwang, Lysmer and Berger is first shown to be ineffective in representing the three-dimensional behaviour for the case of concentrated loads. Modification of the model proposed by Hwang et al. is achieved by attaching side springs and dashpots to the plane strain slice together with the adjustment of mass and damping to reproduce three-dimensional effects. The concept underlying the formulation is to force the potential energy, the kinetic energy and the dissipation energy of the proposed model to be equivalent with those of the three-dimensional continuum.

For pile foundations a simple soil-pile element is developed for investigation of pile effects. Piles are treated as beam elements intrinsically embedded in the host plane strain soil elements without introducing any additional physical nodes in the modeling. Assuming that no slip occurs between the contact surfaces, the displacement fields of the piles can be expressed in terms of the host nodal displacements. Following the standard finite element technique, the pile stiffness can be easily evaluated.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา..... 2533

ลายมือชื่อนิติ.....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

สุริยา ทัศนียานนท์ : แบบจำลองชนิดความเครียดในระนาบสำหรับการวิเคราะห์ปฏิกริยาร่วมของดิน-  
โครงสร้าง (PLANE STRAIN MODEL FOR SOIL - STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS)  
คณะกรรมการที่ปรึกษา : ศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ รศ.ดร.สุธรรม สุริยะมงคล และ  
ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาติ, 62 หน้า. ISBN 974 - 578 - 434 - 6

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการวิเคราะห์ปัญหาปฏิกริยาประกอบร่วมดิน-โครงสร้าง ด้วยแบบจำลองชนิดความ  
เครียดในระนาบสองมิติอย่างง่าย สำหรับฐานรากชนิดไม่มีเสาเข็มพบว่าแบบจำลองชนิดสามมิติอย่างง่ายของ  
Hwang, Lysmer และ Berger ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีนักในกรณีของแรงกระทำเป็นจุดบนฐานราก การปรับปรุง  
แบบจำลองของ Hwang และผู้ร่วมงานกระทำได้โดยการใส่สปริงและตัวหน่วงเข้าไปที่ด้านข้างของแบบจำลองชนิด  
ความเครียดในระนาบร่วมกับการปรับมวลและความหน่วง เพื่อที่จะทำให้เกิดผลของลักษณะสามมิติ แนวความคิด  
ที่ใช้การกำหนดหลักเกณฑ์คือ การบังคับให้พลังงานศักย์ พลังงานจลน์และการสูญเสียพลังงานโดยการกระจาย  
ของแบบจำลองที่น่าเสนอ มีค่าเทียบเท่ากับค่าที่เกิดขึ้นในมวลดินสามมิติ

สำหรับฐานรากชนิดมีเสาเข็ม งานวิจัยนี้นำเสนอขึ้นส่วนดิน-เสาเข็มอย่างง่ายเพื่อศึกษาผลที่เกิดจาก  
เสาเข็ม พิจารณาว่าเสาเข็มนั้นเสมือนเป็นคานแทรกตัวอยู่ในชั้นส่วนของมวลดินที่ห่อหุ้มเสาเข็ม ทำให้ไม่ต้อง  
เพิ่มจุดข้อต่อเฉพาะขึ้นสำหรับเสาเข็มอีกแต่อย่างใด จากสมมุติฐานที่ว่าผิวสัมผัสของดินกับเสาเข็มนยึดติดกันแน่น  
ไม่เคลื่อนตัวแยกจากกัน ทำให้สามารถเขียนรูปแบบของการเคลื่อนที่ของเสาเข็มในเทอมของการเคลื่อนที่ของจุด  
ข้อต่อของชั้นส่วนมวลดินที่ห่อหุ้มเสาเข็มได้ และโดยใช้วิธีการไฟไนท์เอลิเมนต์มาตรฐานจะหาสถิติแรงของ  
เสาเข็มได้โดยง่าย



ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

*สุริยา ทัศนียานนท์*

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

*ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์*

ปีการศึกษา..... 2533

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

*สุริยา ทัศนียานนท์*  
*ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์*

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his gratitude to his advisory committee, Dr.Panitan Lukkunaprasit, Dr.Sutham Suriyamongkol, Dr.Roengdeja Rajatabhothi and Dr.Thaksin Thepchatri for their guidance, understanding and encouragement. He would also like to express his appreciation for the Thesis Committee Chairman, Dr.Ekasit Limsuwan and external examiner, Dr.Suthipoul Viwathanatepa.

The author gratefully acknowledges the Ministry of Education and Ministry of University Affairs for the financial support.

Finally, the author is grateful to his parents and his friends for their support and encouragement.





## TABLE OF CONTENTS

Figure	Title	Page
	Title Page in Thai .....	i
	Title Page in English .....	ii
	Thesis Approval .....	iii
	Abstract in English .....	iv
	Abstract in Thai .....	v
	Acknowledgements .....	vi
	Table of Contents .....	vii
	List of Figures .....	ix
	List of Symbols .....	xi
CHAPTER		
I	INTRODUCTION .....	1
	Background .....	1
	Objectives .....	4
	Scope of Study .....	4
II	BASIC PRINCIPLES .....	5
	Equations of Motion in The time Domain .....	5
	Finite Element Formulation .....	7
	Solution of Equations of Motion in the Frequency Domain ..	11
	Linear Hysteretic Damping .....	12
	Substructure Formulations of Equations of Motion for Soil-structure Interaction .....	13
	Impedance and Transfer Functions .....	16
III	EQUIVALENT PLANE STRAIN MODEL .....	19
	Introduction .....	19

Figure	Title	Page
	Analysis of Strip Footing Using Finite Element Plane Strain Model .....	20
	Analysis of Circular Footing Using Simplified Three-dimensional Model .....	23
	Modification of the Plane Strain Model for Three-dimensional Analyses .....	25
	Parametric Studies .....	28
IV	SOIL-PILE ELEMENT STIFFNESS .....	29
	Formulation .....	29
	Verification of Soil-pile Element .....	34
V	PILE EFFECTS IN EARTHQUAKE ANALYSES .....	35
	Soil – Pile Modeling for Earthquake Analyses .....	35
	Example Problems .....	35
	Transfer Functions .....	37
VI	CONCLUSIONS .....	39
	REFERENCES .....	41
	FIGURES .....	44
	APPENDIX .....	57
	VITA .....	62



## LIST OF FIGURES

Figure	Title	Page
2.1	Displacement superposition schematic representation of soil-structure interaction substructuring a) complete model b) model of foundation without super-structure c) interaction model	45
2.2	Physical interpretation of soil-structure interaction analysis using substructures	46
3.1	a) Soil-structure model b) Finite element discretization $B/b = 4.3$ , $H/B = 1.5$ , $\nu = 0.25$	47
3.2	Non-dimensional displacement functions comparing the plane strain finite element and analytical solutions	47
3.3	Simplified three-dimensional model using dashpots	48
3.4	Non-dimensional displacement functions of circular footing on elastic half space comparing the Hwang's simplified three-dimensional model and analytical solutions	48
3.5	Equivalent plane strain model using dashpots together with side springs	49
3.6	Non-dimensional displacement functions of circular footing on elastic half space comparing the proposed model using Hwang's parameters and analytical solutions a) $C_m = 1.0$ , $C_d = 1.0$ and $C_s = 0.0259$ b) $C_m = 1.0$ , $C_d = 1.0$ and $C_s = 0.0449$	49
3.7	Non-dimensional displacement functions of circular footing on elastic half space comparing the proposed model after adjustment of parameters $C_m$ and $C_d$ and analytical solutions a) $C_m = 0.55$ , $C_d = 0.35$ and $C_s = 0.0259$ b) $C_m = 0.50$ , $C_d = 0.50$ and $C_s = 0.0449$	50

Figure	Title	Page
3.8	Parametric study on the variations of $C_m$ while keeping $C_d$ and $C_s$ constant	
	a) $C_d = 0.35$ , $C_s = 0.026$	
	b) $C_d = 0.50$ , $C_s = 0.042$	50
3.9	Parametric study on the variations of $C_d$ while keeping $C_m$ and $C_s$ constant	
	a) $C_m = 0.55$ , $C_s = 0.026$	
	b) $C_m = 0.50$ , $C_s = 0.042$	51
4.1	Typical soil-pile element	51
4.2	Cantilever beams using plane stress finite element model with inserted piles.	
	a) concentric pile    b) eccentric pile	52
5.1	Pile configurations in the plane strain model	
	a) single-line piles    b) two-line piles	53
5.2	Finer model of finite element mesh	54
5.3	Coarser model of finite element mesh	55
5.4	Acceleration transfer functions	
	a) finer models    b) coarser models	56

## LIST OF SYMBOLS

$A_b$	cross-section area of pile
$a_0$	dimensionless frequency
$a, b$	dimensionless factors of viscous boundary
$[B]$	strain interpolation function
$[B^e]$	element strain interpolation function
$b$	half width of a strip footing
$[C]$	global damping matrix
$[C^e]$	element damping matrix
$[C_h]$	hysteretic damping matrix
$C_m, C_d, C_s$	adjustable parameters
$c$	radiation damping of a dashpot
$[D]$	elasticity matrix
$D^s$	ratio of hysteretic internal damping of soil
$\{d^b\}$	boundary damping force vector
$\{d^s\}$	damping force vector acting on both sides of the plane strain slice
$E$	modulus of elasticity
$E_b$	modulus of elasticity of beam portion
$E_p$	true value of pile's modulus of elasticity
$E_s$	modulus of elasticity of soil
$\{F\}$	generalized force vector
$F_1, F_2$	real and imaginary parts amplitude of compliance
$\{f_s\}$	surface tractions vector
$\{f_v\}$	body forces vector
$G$	shear modulus
$G_b$	shear modulus of beam

$I_b$	section moment of inertia of pile
$i$	$\sqrt{-1}$
$[K]$	stiffness matrix
$[K^e]$	element stiffness matrix
$k$	spring stiffness
$L$	length of beam
$[L]$	strain operator matrix
$[M]$	mass matrix
$[M^e]$	element mass matrix
$\{m\}$	mass vector
$N$	total number of elements
$[N^e]$	element interpolation function
$[\bar{N}]$	global interpolation function
$\{P\}$	complex amplitude of load vector
$\{Q\}$	generalized nonconservative force vector
$\{Q_c\}$	internal damping force vector
$\{Q_f\}$	external nonconservative force vector
$Q_1, Q_2, \dots, Q_N$	generalized nonconservative forces
$\{q\}$	global nodal displacement vector
$\{q_r\}$	displacement vector relative to base motion
$\ddot{q}_r$	base acceleration
$q_1, q_2, \dots, q_N$	generalized coordinates of displacement field
$\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_N$	time derivatives of generalized coordinates
$[S]$	dynamic-stiffness matrix or impedance matrix
$T$	kinetic energy
$\{\bar{T}\}$	surface traction vector
$t_1, t_2$	time interval

$U_b$	strain energy of beam element
$U_e$	strain energy of soil-pile element
$U_s$	strain energy of host-soil-medium
$\{u\}$	displacement vector of any point, complex amplitude of displacement vector
$\{\dot{u}\}$	velocity vector of any point
$\{\ddot{u}\}$	acceleration vector of any point
$V$	potential energy
$V_p$	P-wave velocity
$V_s$	S-wave velocity
$v_i, w_i$	displacements of nodes in y and z direction
$W_{nc}$	work done by nonconservative forces
$\{\bar{X}\}$	body force vector
$y_i, z_i$	spatial co-ordinates of nodes
$\Omega$	the whole volume
$\Gamma$	the whole surface area
$\sigma$	normal stress
$\{\sigma\}$	stress vector
$\{\varepsilon\}$	strain vector
$\tau$	shearing stress
$\omega$	circular vibration frequency
$\rho$	mass density
$\zeta$	damping ratio
$\kappa_b$	shear correction factor
$\delta(\cdot)$	first variation operator symbol