การส่งถ่ายแรงของแท่งรับแรงแนวแกนในตัวกลางโพโรอิลาสติกหลายชั้น

นาย จารึก ถีระวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-847-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17121139

LOAD TRANSFER FROM AXIALLY LOADED BAR IN A MULTILAYERED POROELASTIC MEDIUM

Mr. Jaruek Teerawong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996

ISBN 974-635-847-2

Thesis Title	Load Transfer from Axially Loaded Bar in a Multilayered Poroelastic Medium
By	Mr. Jaruek Teerawong
Department	Civil Engineering
Thesis Advisor	Teerapong Senjuntichai, 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 Supawat Chutivongse, M.D.)

Thesis Committee

..... Chairman
(Associate Professor Sutham Suriyamongkol, D.Eng.)

..... Thesis Advisor
(Teerapong Senjuntichai, Ph.D)

..... Member
(Assistant Professor Roengdeja Rajatabhothi, Ph.D.)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

จารึก ถีระวงษ์ : การส่งถ่ายแรงของแท่งทรงกระบอกรับแรงแนวแกนในตัวกลางโพโรอิลาสติกหลายชั้น (LOAD TRANSFER FROM AXIALLY LOADED BAR IN A MULTILAYERED POROELASTIC MEDIUM) อ. ดร. ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย , 60 หน้า. ISBN 974-635-847-2.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์ปัญหาการส่งถ่ายแรงของแท่งทรงกระบอกรับแรงแนวแกนฝังในตัวกลางโพโรอิลาสติกหลายชั้น แต่ละชั้นของตัวกลางจะพิจารณาให้เป็นวัสดุโพโรอิลาสติกเนื้อเดียวและประพฤติตามทฤษฎีโพโรอิลาสติกซิตีของ Biot แท่งทรงกระบอกจะถูกพิจารณาให้มีพฤติกรรมในลักษณะของวัสดุอิลาสติกมิติเดียว ผิวสัมผัสระหว่างแท่งทรงกระบอกและตัวกลางโพโรอิลาสติกจะถูกสมมติให้ยึดติดกันอย่างสมบูรณ์และของเหลวไหลซึมผ่านได้เต็มที่

การเคลื่อนที่ของแท่งทรงกระบอกในแนวแกนจะถูกสมมติให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียลร่วมกับชุดของตัวแปรไม่ทราบค่า ฟังก์ชันพลังงานศักย์ทั้งหมดของแท่งทรงกระบอกและตัวกลางโพโรอิลาสติกหลายชั้นจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้หลักการของการสร้างฟังก์ชันพลังงานตามวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างปกติร่วมกับการประยุกต์ใช้หลักการสร้างลติฟเนสเมตริกซ์ของตัวกลางโพโรอิลาสติกหลายชั้น จากหลักการพลังงานต่ำที่สุดของพลังงานศักย์รวมทั้งหมดของระบบจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าของชุดตัวแปรซึ่งถูกสมมติไว้ในตอนแรกได้ และเมื่อแทนค่ากลับเข้าไปจะสามารถหาค่าการเคลื่อนที่ของแท่งทรงกระบอกได้

จากผลการคำนวณที่ได้พบว่าค่าที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับงานวิจัยในอดีต นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงผลของคุณสมบัติของแต่ละชั้นของตัวกลางโพโรอิลาสติกหลายชั้นที่มีต่อพฤติกรรมของแท่งทรงกระบอก จากการศึกษาพบว่าอัตราการทรุดตัวของแท่งทรงกระบอกขึ้นกับความสามารถในการให้ของเหลวไหลซึมผ่านในแต่ละชั้นของตัวกลาง ค่าการทรุดตัวของแท่งทรงกระบอกที่สถานะเริ่มต้นและสุดท้ายถูกควบคุมด้วยค่าอัตราส่วนปัวซองในภาวะซึ่งของเหลวไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีของเหลวตามลำดับ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแท่งทรงกระบอกและตัวกลางโพโรอิลาสติกหลายชั้นรวมทั้งความยาวของแท่งทรงกระบอกมีผลกระทบต่อค่าการทรุดตัวของแท่งทรงกระบอก

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ..... ลายมือชื่อนิสิต จารึก ถีระวงษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Teerapong Senjuntichai

ปีการศึกษา 2539 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C715097 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: LOAD TRANSFER / MULTILAYERED POROELASTIC MEDIUM / CONSOLIDATION SETTLEMENT / SOIL-STRUCTURE INTERACTION / VARIATIONAL METHOD
JARUEK TEERAWONG : LOAD TRANSFER FROM AXIALLY LOADED BAR IN A MULTILAYERED POROELASTIC MEDIUM. THESIS ADVISOR : TEERAPONG SENJUNTICHAI, Ph.D. 60 PP. ISBN 974-635-847-2.

The analysis of load transfer from an axially loaded elastic bar embedded in a multilayered poroelastic medium is presented. The bar is considered as a one-dimensional elastic continuum. The contact surface between the bar and the multilayered medium is assumed to be perfectly bonded and fully permeable. Each layer of the multilayered medium is considered as a homogeneous poroelastic material and behaves according to Biot's theory.

The vertical displacement of the bar is assumed by using an exponential function with a set of arbitrary coefficients. A variational formulation and an exact stiffness method are used to formulate the total potential energy functional of the bar-multilayered medium system. Minimization of the total potential energy functional is applied in order to determine the arbitrary coefficients. Finally, back-substitution of these coefficients into the assumed displacement function yields the time-histories of the axial responses of the bar.

A computer program was developed in order to evaluate the numerical solutions. The numerical results obtained are in good agreement with those of other investigators. The influence of layer properties on the time dependent behavior of the bar are also investigated and discussed. It can be seen from the conclusions that the rate of bar displacement is depended on the permeability of each layer and the initial and final displacement is controlled by the undrained and drained Poisson's ratio, respectively. In addition the moduli of elasticity of the bar and multilayered medium and the bar length have significant influence on the magnitude of the vertical displacement of the bar.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต สฤกา วีระวงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Teerapong Senjuntichai

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his deep appreciation to his advisor, Dr. Teerapong Senjuntichai, for his kindness, helpful suggestions and careful supervision throughout this thesis. Acknowledgement is also due to the author's thesis committee, Associate Professor Dr. Suthum Suriyamongkhol and Assistant Professor Dr. Roengdeja Rajatabhothi. Sincere thanks to Professor Dr. R.K.N.D. Rajapakse at the University of Manitoba for his comments on this thesis. Special thanks are extended to everyone who has been involved directly and indirectly in the preparation of this thesis.

Finally, the author would like to express his gratitude and indebtedness to his parents for their support and encouragement.

TABLE OF CONTENTS

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 Tables ix
List of Figures x
List of Symbols xi
CHAPTER
I INTRODUCTION 1
1.1 General 1
1.2 Literature Review 2
1.3 Objective and Scope of Present Study .. 4
1.4 Basic Assumptions 4
II THEORETICAL CONSIDERATION 6
2.1 Basic Equations and General Solutions . 6
2.2 Stiffness Matrix 11
2.3 Global Stiffness Matrix 13
2.4 Variational Formulation 15
III NUMERICAL SOLUTION SCHEME 20
3.1 Determination of Flexibility Matrix ... 20
3.2 The inverse Laplace-Hankel Integral transform 21
IV DISCUSSION OF NUMERICAL RESULTS 23
4.1 Convergence and Accuracy of Present Solutions 23

4.2 Numerical Results for Bar-Multilayered System 26
V CONCLUSIONS 31
REFERENCES 34
TABLES AND FIGURES 36
APPENDICES 53
APPENDIX A 54
APPENDIX B 57
VITA 60

LIST OF FIGURES

Figure	Title	Page
1	A homogeneous poroelastic half-space	41
2	Geometry of multilayered half-space	41
3	Geometry of bar-multilayered medium system	42
4	Basic element used in discretizing multilayered medium	42
5	Bar-homogeneous medium system considered in this study	43
6	Numerical representation of bar-multilayered medium system	43
7	Nondimensionalized bar displacement for different $\kappa^{(1)}/\kappa^{(2)}$	44
8	Nondimensionalized bar displacement for different $h^{(1)}/h^{(2)}$	45
9	Nondimensionalized bar displacement for different $\nu^{(2)}$	46
10	Nondimensionalized bar displacement for different shear moduli	47
11	Nondimensionalized bar displacement for different bar length	48
12	Nondimensionalized bar displacement for different $E_b/E_h^{(2)}$	49
13	Geometry of pile-soil system	50
14	Nondimensionalized bar displacement of system in FIGURE 13	51
15	Nondimensionalized bar axial stress of system in FIGURE 13	52

LIST OF TABLES

Table	Title	Page
1	Convergence of solutions with respect to K	37
2	Convergence of solutions with respect to N_t	38
3	Convergence of solutions with respect to ξ_L	38
4	Comparison between Stehfest scheme and Schapery scheme	39
5	Comparison of solutions obtained from present study and Selvadurai and Rajapakse[3]	40
6	Comparison of solutions obtained from present study and Niumpradit and Karasudhi[4]	40

LIST OF SYMBOLS

A	Cross sectional area of elastic bar
$A_m,\ldots,H_m$	Arbitrary functions
a	Radius of elastic bar
B	Skempton's pore pressure coefficient
B_{kj}	Body force acting through the j^{th} element due to K terms of α
$c^{(i)}$	Consolidation coefficient for the i^{th} layer
E_b	Modulus of elasticity of elastic bar
$E_h^{(i)}$	Modulus of elasticity of the i^{th} layer
f_{ij}	Displacement at point P_i due to the body force acting through the j^{th} element
$F^{(n)}$	Generalized force vector for the n^{th} layer
$G^{(i)}$	Shear modulus for the i^{th} layer
h_b	Total embedded length of elastic bar
$h^{(i)}$	Thickness of the i^{th} layer
$\overline{H}_m$	The m^{th}-order Laplace-Hankel transform of any function
J_m	Bessel function of the first kind of order m
K	Number of arbitrary functions used for the assumed displacement function
$K^{(n)}$	Stiffness matrix for the n^{th} layer
k_{ij}	Elements of global stiffness matrix
N	Total number of layers for multilayered medium
N_t	Total number of elements used for discretization of elastic bar
p	Excess pore fluid pressure
$Q_m^{(n)}$	Fluid source applied in the i^{th} direction at the n^{th} interface corresponding to the m^{th} harmonic

q_i	Fluid discharge in the i^{th} direction
r	Radial coordinate
S	Contact surface between elastic bar and medium
s	Laplace transform parameter
$T^{(n)}$	Vector of generalized tractions and fluid flow for the n^{th} layer
$T_{im}^{(n)}$	Tractions in the i^{th} direction at the n^{th} interface corresponding to the m^{th} harmonic
t	Time variable
Δt_j	Thickness of the j^{th} element
$U^{(n)}$	Generalized displacement vector for the n^{th} layer
U_b	Strain energy of elastic bar
U_{HS}	Strain energy of multilayered half-space
U_T	Total potential energy functional of bar-multilayered medium system
u_i	Average displacement of solid matrix in the i^{th} direction
u_{im}	Symmetric component of u_i corresponding to the m^{th} harmonic
$\hat{u}_{im}$	Anti-symmetric component of u_i corresponding to the m^{th} harmonic
V_0	Applied axial force
W	Potential energy of the applied load V_0
w	Assumed displacement profile of elastic bar in time domain
$\overline{w}$	Laplace transformation of w
w_{kj}	Displacement at point P_j corresponding to K terms of arbitrary functions equaled to unity
z	Vertical coordinate
z_i	Distance from top of elastic bar to point P_i

α_k	Arbitrary functions in the assumed displacement profile in time domain
$\overline{\alpha_k}$	Laplace transformation of α
Δ_o	Displacement at top of elastic bar
δ_{ij}	Kronecker delta
ε	Dilatation of solid matrix
ε_{ij}	Strain components of solid matrix
ζ	Variation of fluid volume per unit reference volume
ζ_m	Symmetric component of ζ corresponding to the m^{th} harmonic
$\hat{\zeta}_m$	Anti-symmetric component of ζ corresponding to the m^{th} harmonic
θ	Circumferential coordinate
$\kappa^{(i)}$	Coefficient of permeability for the i^{th} layer
μ	Shear modulus of homogeneous half-space
ν	Drained Poisson's ratio
ν_u	Undrained Poisson's ratio
ξ	Hankel transform parameter
ξ_L	Upper limit of ξ used in numerical integration
σ_{ij}	Stress components of bulk material
ψ_i	Fluid displacement relative to solid matrix in the i^{th} direction