

INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA DO EDIFÍCIO COM UMA COMBINAÇÃO MEC-MEF

Ana Paula Ferreira Ramos¹ & João Batista de Paiva²

Resumo

Este trabalho de doutoramento objetiva analisar a interação estaca - solo - superestrutura através de uma combinação MEC - MEF. A contribuição deste trabalho será a capacidade de análise da interação solo – estrutura do edifício, atendendo à disponibilidade de tempo de um escritório de engenharia estrutural. O solo será representado de acordo com a solução fundamental de Mindlin e será modelado pelo MEC. As estacas poderão ser submetidas a esforços horizontais, verticais e momentos fletores; e serão modeladas pelo MEF. O bloco será modelado por uma placa de grande rigidez. A superestrutura será modelada pelo MEF.

Palavras-chave: Interação Solo-Estrutura. Acoplamento MEC-MEF. Mindlin.

ANALYSES OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION USING BEM-FEM COUPLING

Abstract

The objective of this work is the soil structure analysis using BEM-FEM coupling. The contribution of this work will be the possibility of the soil structure interaction analysis be performed in an engineering office. The soil will be modeled by Mindlin's fundamental solution and by BEM (Boundary Elements Method). In addition, the piles will can be loaded with horizontal and vertical forces and moments. The piles will be modeled by the FEM (Finite Elements Method). Blocks will be modeled by very stiff plates. The building's super structure will be modeled by FEM.

Keywords: Soil-Structure Interaction. FEM-BEM Coupling. Mindlin.

Linha de Pesquisa: Métodos Numéricos.

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho de doutoramento pretende-se desenvolver um programa para a análise da interação estaca – solo – superestrutura como uma combinação do Método dos Elementos de Contorno com o Método dos Elementos Finitos, como descrito em RAMOS & PAIVA (2009). O solo será representado como um meio contínuo semi-infinito e modelado pelo MEC, as estacas serão modeladas pelo MEF, e poderão estar submetidas a esforços horizontais e verticais, a ligação entre o bloco e as estacas se fará através da compatibilização de deslocamentos e rotações nos pontos de ligação. O bloco será representado por uma placa de grande rigidez e a superestrutura será modelada pelo método dos elementos finitos. Os resultados obtidos com este software deverão ser comparados com outros disponíveis na literatura.

¹ Doutoranda em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, ramosapf@gmail.com

² Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, paiva@sc.usp.br



2 METODOLOGIA

Neste trabalho, estuda-se a interação solo-estrutura, onde o solo é representado por um meio contínuo semi-infinito, e a estaca é representada por elementos unidimensionais, e a placa pelo elemento DKT e pela formulação livre, como descrito em: OSHIMA, PAIVA & MENDONÇA (2007), MENDONÇA & PAIVA (2004, 2003), MATOS FILHO (2001), PAIVA & MENDONÇA (1997, 1998, 1999), MINDLIN (1936). Desenvolve-se uma formulação para a análise da interação solo-estrutura que permita a análise de problemas práticos em um tempo compatível com as necessidades de um escritório de engenharia. A linguagem do software é o Compaq Visual Fortran 2000 (Edition 6.6). Os resultados obtidos serão comparados com os poucos disponíveis na literatura.

3 DESENVOLVIMENTO

O acoplamento pórtico-radiê-estaca-solo está associado às regiões em que são mobilizadas forças de contato entre o radiê e o pórtico espacial, Figura 1.b. Dos seis graus de liberdade do vetor de deslocamentos do pórtico no sistema global da estrutura (os deslocamentos horizontais são vinculados rigidamente e a rotação de torção é admitida livre), de forma que apenas seis graus de liberdade (deslocamento vertical, rotações de flexão) são efetivamente compatibilizados com aqueles definidos na placa. As regiões de interação e suas correspondentes forças estão indicadas na Figura 1.

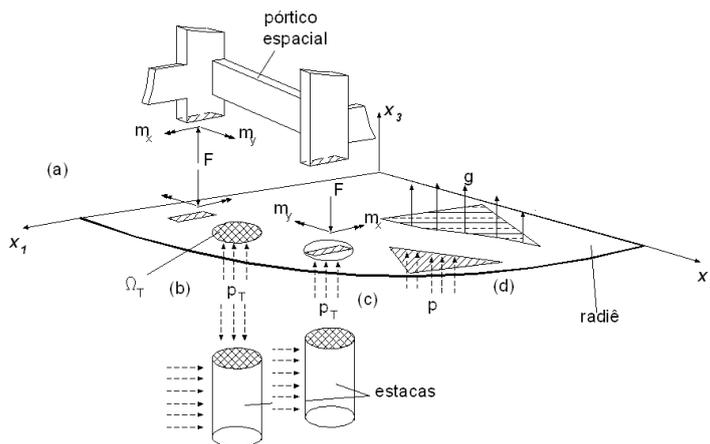


Figura 1 – Forças interativas do problema pórtico-radiê estaqueado.

O funcional de energia da placa para essas regiões pode ser escrito como:

$$\pi = \pi_r - \sum_{k=1}^{N_{pilar}} u_{zk} F_k - \sum_{k=1}^{N_{pilar}} \theta_{xk} m_{xk} - \sum_{k=1}^{N_{pilar}} \theta_{yk} m_{yk} \quad (1)$$

Na estaca, quando o funcional é escrito para um elemento finito com a barra do pórtico ligado no nó k, tem-se

$$\Pi_l = \frac{1}{2} \tilde{U}_r^T \tilde{K}_r \tilde{U}_r - \tilde{U}_r^T \tilde{F}_r + \tilde{U}_r^T \tilde{f}_r \quad (2)$$

O elemento de membrana e o pórtico têm seis graus de liberdade no k $\{u_{xk} \ u_{yk} \ u_{zk} \ \theta_{xk} \ \theta_{yk} \ \theta_{zk}\}$, de forma que o acoplamento requer que haja uma compatibilização de ordens das matrizes de influência do radiê e do pórtico. Assim, o vetor de deslocamento para um elemento do radiê com uma barra de pórtico acoplada fica:

$$U_p^T = \{u_{zi} \ \theta_{xi} \ \theta_{yi} \ u_z \ \theta_{xi} \ \theta_{yi} \ u_{xk} \ u_{yk} \ u_{zk} \ \theta_{xk} \ \theta_{yk} \ \theta_{zk}\} \quad (3)$$

Já o correspondente de forças fica:

$$p_p^T = \{F_{zi} \ m_{xi} \ m_{yi} \ F_{zj} \ m_{xj} \ m_{yj} \ F_{xk} \ 0 \ 0 \ m_{xk} \ m_{yk} \ 0\} \quad (4)$$

Expandindo-se o funcional discretizado nas correspondentes posições dos graus de liberdade do radiê, o funcional passa ser escrito como:

$$\Pi_1 = \frac{1}{2} U_p^T \bar{K}_c U_p - U_p^T R \bar{F}_p \quad (5)$$

Ao serem computados todos os elementos acoplados à barra de pórtico, seguida da minimização tem-se a matriz de rigidez desse problema:

$$K_p U_p = F_p - \bar{R} P_p \quad (6)$$

A matriz do problema radiê-pórtico obtida da matriz (6) é:

$$K_{p,r} U_p = F_p \quad (7)$$

onde $K_{p,r} = K_p + \bar{R} K_p$

O sistema de equações do problema global é o seguinte (Figura 1):

$$\begin{bmatrix} K_p & 0 & 0 \\ 0 & K_{p,r} & 0 \\ 0 & 0 & K_p \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_p \\ U_{p,r} \\ U_r \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_p \\ F_{p,r} \\ F_r \end{Bmatrix} \quad (8)$$

4 RESULTADOS OBTIDOS E ESPERADOS

Os resultados obtidos são os deslocamentos: da placa, da interação placa-solo e da interação estaca-solo. Os resultados esperados são as tensões e deslocamentos do solo, os momentos fletores da placa, os esforços verticais, horizontais e momentos fletores atuantes nas estacas, quando a interação solo-estrutura do edifício é analisada.

5 CONCLUSÕES PARCIAIS

O presente trabalho obteve aprovação no exame de qualificação do doutorado. E está apto a fazer a análise da interação estaca-solo e placa-solo conforme MINDLIN (1936).

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa. E ao Departamento de Engenharia de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos, USP por possibilitar o desenvolvimento desta Tese.

7 REFERÊNCIAS

AOKI, N. Aspectos geotécnicos da interação estrutura-macizo de solos, **XXVIII Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural**, vol. 1, São Carlos, p. VII – XX, 1997.

MATOS FILHO, Rubens F ; PAIVA, J. B. ; CODA, Humberto Breves . Elastic analysis of piles submitted to horizontal and vertical loads. In: **XV Congresso aimeta di meccanica teorica e applicata**. CD ROM do AIMETA, 2001.

MENDONÇA, A. V.; PAIVA, J. B. Uma abordagem MEC/MEF para análise linear de problemas de interação pórtico-radiê. In: **XXXI Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural**, Argentina, 17 a 21 de Mayo de 2004.

MENDONÇA, A. V.; PAIVA, J. B. An elastostatic FEM/BEM analysis of vertically loaded raft and piled raft foundation. **Engineering Analysis with Boundary Elements**, v.27,p919-933, 2003.

MENDONÇA, A. V.; PAIVA, J. B. A boundary element method for the static analysis of raft foundations on piles. **Engineering Analysis with Boundary Elements**, v.24, p. 237-247, 2000. ISSN 0955-7997.

MINDLIN, R. D. Force at a point in the interior of a semi-infinite solid. **J. Physics**, v.7, p. 195-202, 1936.

OSHIMA, S. T.; PAIVA, J. B.; MENDONÇA, A. V. Analysis of the interaction between inclined piles and the soilwith a combination of BEM and FEM. In: **6th UK Conference on Boundary Integral Methods**. p. 71-79, 2007.

PAIVA, J. B.; BUTTERFIELD, R. Boundary element analysis of plate-soil interaction. **Computers & Structures**, v. 64, n. 1/4, p.319-28, 1997.

POULOS H. G.; MATES, N. S. Settlement and load distributions analysis of pile groups. **Aust. Geomechs. Jnl.**, v. 1, g. 1, 1971.

POULOS, H. G. An approximate numerical analysis of pile raft interaction. **International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics**, vol.18, p. 73-92, 1994.

POULOS, H. G.; Davis, E. H. **Pile foundation Analysis and Design**. John Wiley&Sons, 1980. 397 p. ISBN: 0471020842.

RAMOS, A. P. F.; PAIVA, J. B. Análise da interação edifício-solo com uma combinação MEC / MEF. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**. v. 11, n. 53, p. 141-144, 2009. ISSN: 1809-5860.