

7

Conclusões e Sugestões

A análise das vibrações de uma coluna parcialmente enterrada parte, neste trabalho, da obtenção de um funcional de energia originado de uma formulação linear, da dedução das equações diferenciais parciais de movimento para o trecho enterrado e desenterrado e da determinação das diversas famílias de soluções para cada equação de movimento em função dos parâmetros que aparecem nessas equações. Esse estudo passa pela análise das raízes da equação característica de cada equação. A determinação das constantes presentes nestas soluções requer a resolução de um problema de autovalor, cujo resultado é comparado com o obtido pelo método aproximado de Rayleigh-Ritz. Os resultados comprovam que o método de Rayleigh-Ritz fornece uma boa aproximação para a solução analítica exata. Apesar do uso de programas de álgebra simbólica facilitar a obtenção da solução exata de diversos problemas regidos por equações diferenciais que antes eram tratados somente por meio de métodos aproximados, estas soluções revelam-se bastante sensíveis do ponto de vista numérico, em função da presença de funções exponenciais e hiperbólicas. No presente estudo, o determinante característico do problema de autovalor, uma expressão bastante longa e altamente não-linear, mostrou-se particularmente sensível, exigindo uma manipulação cuidadosa das parcelas do determinante e a adoção de 64 algarismos significativos para superar os problemas de instabilidade numérica. Nesta etapa da dissertação, comparações com as soluções obtidas pelo método de Ritz para uma coluna biapoiada foram de grande valia.

A análise paramétrica do caso linear, que utiliza a solução exata para a vibração livre da coluna, possibilita mostrar a influência dos parâmetros de carregamento, de rigidez da fundação, da altura h da estaca inserida na fundação e das condições de apoio nos valores das frequências naturais e modos de vibração.

Verifica-se que o aumento do parâmetro de rigidez da fundação K para uma mesma condição de contorno provoca um acréscimo nos valores das frequências

naturais. Nota-se, também, que uma grande rigidez da fundação leva a frequência de vibração a atingir um valor limite a partir do qual, mesmo com a variação da rigidez da base, não se tem alteração nos valores da frequência. Considerando valores crescentes de K , verifica-se que os modos de vibração exibem pequenas amplitudes na parte da coluna no interior da fundação e que a alteração no número de ondas que descrevem os modos de vibração da coluna se dá preferencialmente na parte desenterrada.

Com relação à profundidade da fundação tem-se que a frequência que mais sofre influência desta é a de menor valor, fato este explicitado pelo maior intervalo de variação de seus valores. Quando a coluna encontra-se totalmente enterrada, o parâmetro de frequência apresenta valores bem próximos, o que demonstra que, a partir do primeiro modo de vibração, qualquer alteração no valor da frequência se reflete em uma rápida mudança da forma do modo de vibração.

A alta rigidez da fundação pode provocar, também, a equivalência de comportamentos entre colunas com diferentes condições de apoio na extremidade inferior. As configurações dos modos de vibração, para as diversas condições de apoio, comprovam que dependendo da altura da estaca inserida na fundação e da rigidez desta o trecho enterrado passa a funcionar como um engastamento para o trecho livre. Isto é particularmente evidente no trecho entre $h = 0,1$ e $h = 0,9$. Quando a proporção do trecho enterrado, h , tende a zero ou a um, as condições de apoio na extremidade inferior voltam a ter importância no comportamento da estaca. Essas características fazem com que o comportamento da estaca parcialmente enterrada seja particularmente diferente do da estaca totalmente enterrada, problema usualmente tratado na literatura.

Para se estudar a influência da não-linearidade no comportamento dinâmico, é analisada a relação entre frequências e amplitudes da vibração para os diversos parâmetros do sistema. Observa-se, a partir dos resultados, que a coluna apresenta sempre um comportamento não-linear com ganho de rigidez, isto é, a frequência cresce à medida que cresce a amplitude. O grau de não-linearidade depende particularmente do nível de carga axial e da profundidade da fundação. Assim, ao contrário da situação linear em que a teoria mostra que a ressonância ocorre quando $\Omega/\Omega_n = 1$, isto não ocorre para o caso não-linear. Neste caso, o aparecimento das amplitudes máximas de vibração ocorre para frequências superiores à frequência natural do sistema.

Para a vibração forçada sem amortecimento, verifica-se que as curvas de ressonância podem apresentar mais de uma solução para uma dada frequência, dando origem ao fenômeno do salto, onde a amplitude de vibração perto da ressonância pode sofrer uma alteração brusca, gerando nesses um transiente com variações bruscas nos esforços, o que pode levar a danos na estrutura. Estes saltos podem ser reduzidos, ou mesmo eliminados, aumentando-se o amortecimento da estrutura.

Dentre as sugestões para futuros trabalhos, pode-se mencionar:

- Um estudo mais detalhado do comportamento não-linear, adotando-se vários modos na expansão do campo de deslocamentos, o que permite obter resultados mais confiáveis para vibrações de grande amplitude. Neste caso, a consideração de danos na coluna (plastificação ou fissuração) levará a um modelo mais refinado e indicado para o estudo de estruturas reais submetidas a forças dinâmicas de grande magnitude como aquelas geradas por terremotos.
- Consideração de modelos mais precisos para o solo, levando-se em consideração a não-linearidade típica de solos que é, em geral, do tipo “softening”.
- Consideração da presença do bloco de fundação no topo da estaca e possível interação desta com a estrutura.
- Análise mais detalhada do presente modelo no domínio do tempo através da integração numérica das equações de movimento e obtenção dos diagramas de bifurcação e bacias de atração. Estas informações podem ser úteis na avaliação do grau de segurança de uma dada estrutura.