7
CONCLUSÃO

O método híbrido de elementos finitos, como apresentado neste trabalho para a análise de problemas dinâmicos no domínio da freqüência, permite a generalização do procedimento tradicionalmente usado para a análise de problemas dinâmicos pelo método de elementos finitos convencional, que faz uso apenas do primeiro termo da série de potência em ω apresentada pela equação (2.7.30), ou seja,

$$\left(\mathbf{K}+\mathbf{M}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\right)\mathbf{d}(t)=\mathbf{p}(t) \tag{7.1}$$

onde $\mathbf{K}$ é a matriz de rigidez do sistema e $\mathbf{M}$ é a matriz de massa. A equação (2.7.30), evidencia que, além das matrizes de rigidez $\mathbf{K}$ (ou $\mathbf{K}_0$ como é denominada na equação (2.7.30)) e massa $\mathbf{M}$ (denominada de $\mathbf{M}_1$ na equação (2.7.30)) podem ser usadas ainda n–1 matrizes de massa $\mathbf{M}_i$, com $i > 2$ (que são em verdade uma mistura de massa e rigidez), de acordo com a precisão que se queira obter.

Com a utilização de mais termos da expansão em série da matriz de rigidez efetiva no domínio da freqüência, o método híbrido dos elementos finitos permite uma melhor satisfação da equação de movimento do problema, em comparação com o método de análise dinâmica por elementos finitos convencional, que só utiliza um termo, garantindo assim uma maior precisão nos resultados.

Além disso, a utilização das soluções fundamentais não-singulares como funções de interpolação dos deslocamentos no domínio do elemento torna o método mais fácil e simples de implementar que os métodos de elementos de contorno em geral, devido à ausência da singularidade na solução fundamental, embora possa resultar em problemas com problema de condicionamento..

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0310981/CA

7.1. Vantagens do Método

A técnica de superposição modal generalizada permite tratar problemas dependentes do tempo no contexto do domínio da freqüência de forma simples (sem a necessidade de transformadas).

Outra vantagem do método é o fato de a formulação precisar apenas de integrais de contorno, o que reduz em uma dimensão o problema de integração e possibilita a geração de formas polinomiais arbitrárias de maneira sistemática.

O método também possibilita o tratamento preciso de problemas de fraturas, cantos ou elementos perfurados, com a utilização de funções de soluções locais. Problemas que envolvem materiais heterogêneos com gradação funcional também são tratados de forma simples e direta, ao menos para problemas de potencial.

7.2. Desvantagens do Método

Em relação às desvantagens do método híbrido de elementos finitos aqui apresentado, pode-se concluir que:

- O método é mais lento se comparado ao método dos elementos finitos devido à necessidade de se montar uma matriz de flexibilidade do elemento para em seguida invertê-la, no processo de obtenção da matriz de rigidez do elemento.
- Na solução de problemas dinâmicos, o método requer a solução de um problema de autovalor não-linear, representado pela equação (2.8.1), o que pode encarecer o tempo de processamento.
- Soluções polinomiais de grau muito alto podem resultar em matrizes de rigidez mal-condicionadas, no caso de domínios muito distorcidos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0310981/CA

7.3. Análise dos Resultados

Quanto aos resultados apresentados nos exemplos do Capítulo 6 pode-se tirar as seguintes conclusões:

- O método apresentou boa precisão tanto para problemas estáticos ou de regime permanente quanto para problemas dinâmicos ou transientes, principalmente com a utilização de matrizes de massa de ordem mais altas.
- O método se mostrou bastante adequado à análise de problemas com gradação funcional, pelo menos para problemas de potencial.
- A utilização de elementos com um número grande de graus de liberdade (como no caso dos elementos Q12 e Q16 dos exemplos 6.4 e 6.5) gera problemas de matrizes de rigidez com mau condicionamento, devido ao alto grau dos polinômios da solução fundamental envolvida. A sugestão que se faz é que se usem apenas elementos com poucos graus de liberdade, tais como os elementos T3, T6, Q4 e Q8 no caso de problemas bidimensionais.
- O método apresentou convergência típica de métodos híbridos, ou seja, não monotônica, como pode ser visto no gráfico da figura 6.30 para o elemento Q8, que se mostrou muito boa em comparação com o método dos deslocamentos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0310981/CA

7.4.Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões para trabalhos futuros em continuação ao que foi desenvolvido neste trabalho, apresentam-se:

- Aperfeiçoar os métodos de solução de autovalores não-lineares, para a obtenção de autovalores mais precisos e de maneira mais confiável (Dumont e Cruz, 2006) que nos algoritmos usados, com menor esforço computacional e sem a necessidade da utilização de matrizes aumentadas (Chaves, 2003), que encarece o processo computacional.
- Realizar uma análise comparativa entre a técnica de superposição modal avançada utilizada neste trabalho e as técnicas de solução puramente no domínio da freqüência (com o uso de transformadas) ou puramente no domínio do tempo, existentes na literatura.
- Desenvolver um programa em uma linguagem mais robusta (por exemplo, o Fortran) e fazer uma análise comparativa com o método dos deslocamentos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0310981/CA