7

Conclusões, comentários e sugestões

7.1.

Conclusões

São abordados assuntos cujo estudo vem sendo aprofundado pela linha de pesquisa desenvolvida no âmbito do Termo de Cooperação existente entre a PUC-Rio e a ELETRONUCLEAR, pelo Departamento de Engenharia Civil e a Gerência de Análise de Tensões – GAN.T, respectivamente .

É proposto um roteiro de cálculo para a produção de espectros de resposta para projetos sísmicos de sistemas secundários. O roteiro é baseado na utilização do programa *SASSI*, que vem sendo utilizado pela indústria nuclear internacional, para as análises de interação solo-estrutura.

Juntamente com o roteiro, é desenvolvido e apresentado um conjunto de programas e planilhas de cálculo, que auxilia na seqüência de execução das análises e permite a produção dos espectros de resposta e a sua apresentação em forma de gráficos e tabelas.

As principais conclusões, sugestões e propostas dos trabalhos já publicados nessa linha de pesquisa, estão contempladas pela metodologia ora proposta, tais como:

- representar os efeitos de acoplamento entre SS e SP;
- incluir a influência dos deslocamentos relativos entre os nós de apoio do sistema secundário no sistema principal;
- possibilitar a análise probabilística, para obter espectros de resposta em aceleração uniformemente prováveis, acoplados ou não, ERUP, ERAUP;
- utilizar fatores de transposição entre espectros elásticos e inelásticos;
- possibilitar o acoplamento com o SP de maneiras distintas para SS genéricos ou SS específicos, para os quais é permitido considerar as suas características dinâmicas particulares;
- considerar modelos tridimensionais e as suas respostas para uma excitação genérica, atuante em 3 direções ortogonais;

- incluir interfaces para a utilização de resultados com outros programas de cálculo da ELETRONUCLEAR e com programas de utilização geral, como o *MS-EXCEL*.

O elevado grau de automatização permite ao engenheiro a produção de ERUP e ERAUP, com a inclusão das novas possibilidades e refinamentos de modelagem, alcançando uma análise mais realista, sem a necessidade de esforços adicionais aos já requeridos para a obtenção de espectros de resposta através da metodologia convencional.

A metodologia de análise proposta enquadra-se no encaminhamento para o contexto atual de análise sísmica de instalações nucleares, em que, além da utilização de espectros de resposta de projeto de ameaça uniforme, UHRS, já é proposto o espectro de projeto de risco uniforme, URRS, específico para o sítio da instalação, e a análise sísmica de risco consistente, KENNEDY (2007), [ASCE / SEI 43-05 – 2005].

7.2. Comentários

Considera-se que o roteiro proposto insere-se no contexto das contribuições para um melhor entendimento e prática da obtenção de espectros de resposta para dimensionamento de SS, conforme comentado no capítulo 2. Apesar de já se ter alcançado um considerável desenvolvimento teórico e da facilidade de produção, ainda persistem algumas dificuldades na obtenção dos ER no domínio do tempo:

- **dificuldade para representação do amortecimento** – devido a necessidade de consideração de amortecimentos modais, que normalmente são obtidos por médias de energia de deformação para cada modo de vibração do modelo, ou da definição dos parâmetros do amortecimento de Rayleigh, que são constantes na análise, porém definidos considerando-se valores médios para uma faixa de frequência;

- **problema na escolha das frequências de cálculo** – pois de início não são conhecidas as frequências de maiores respostas do conjunto solo-estrutura para a excitação de projeto, e, de acordo com as normas devem ser estudadas todas as frequências naturais do modelo além de 75 frequências pré-estabelecidas, causando problemas de ordem prática para a solução;

- **difícil definição de superposições e envoltórias** – como as respostas dos modelos são sensíveis às suas características dinâmicas, muitas vezes pequenas variações na excitação podem causar grandes modificações nas respostas.

O roteiro proposto para a obtenção de ER, ERUP e ERAUP no domínio da frequência traz as seguintes vantagens em relação à metodologia habitual:

- **melhora a representação do amortecimento** – pois a representação da maior dissipação de energia do conjunto solo-estrutura com o aumento da frequência de excitação é obtida diretamente na formulação matemática da solução;

- **facilita a escolha das frequências de cálculo** – O critério das 75 frequências fixas [US NRC- RG 1.122 – 1978] mais as frequências naturais do modelo fica substituído pela escolha das frequências a partir da análise das FDEP

nas posições dos SS, possibilitando uma análise confiável a partir de um número consideravelmente menor de frequências de análise;

- **facilita a superposições e envoltórias** – que passam a ser possíveis a partir de análises probabilísticas.

Assim, apesar do roteiro ora apresentado ter a desvantagem da necessidade de um grande esforço computacional e de ainda carecer de um enquadramento na regulamentação existente, traz vantagens significativas em relação à metodologia convencional.

O fato de serem obtidos espectros de resposta compatíveis com um nível especificado de probabilidade de não serem superados além de terem um compromisso direto com a FDEPP, sem a necessidade de serem utilizados históricos de aceleração de sismos amostras, permite e recomenda a utilização do roteiro sempre que se desejar um resultado mais realista.

7.3. Sugestões

7.3.1. Sugestões para evolução da rotina de cálculo

O roteiro de cálculo proposto é de uso genérico e pode ser aplicado às várias situações de cálculo. Entretanto, devido à necessidade da repetição de todas as rotinas do *SASSI* para cada frequência de análise, que está automatizada com a utilização dos programas descritos, a obtenção dos resultados finais demanda muito tempo e esforço computacional. Para os exemplos descritos no item 6.1, utilizando um computador AMD Athlon 64 – 3700+, com velocidade de processamento de 2,21 GHz e 1,93GB de RAM, a solução do módulo *ANALYS* do *SASSI*, para cada frequência de análise, demanda aproximadamente 4 minutos. Considerando 43 frequências e 3 direções, há a necessidade de mais de 8 horas de processamento para a produção de um único espectro de resposta.

Assim, ainda pode ser feito um esforço para aumentar a eficiência do processo computacional. As seguintes possibilidades se mostram inicialmente adequadas:

- modificar as rotinas de cálculo para permitir a consideração de frequências de análise diferentes para cada direção e, assim, ao se otimizar o número de análises para cada direção se conseguiria a redução no tempo de execução;
- incluir a possibilidade de utilização do módulo *COMBIN*, para permitir a análise por etapas, mais curtas, melhorando o controle e eficiência da análise;
- fazer a conversão da linguagem Visual Basic utilizada no programa *ExeSASSI*, atualizando-a do *VB6* para o atual *VB2008*, que permite o gerenciamento de processamento paralelo. Assim, a solução, que pode ser realizada independentemente para cada frequência de análise, poderia ser obtida mais rapidamente, tornando viável a utilização de modelos com mais graus de liberdade.

Outra sugestão é a extensão da rotina para também incluir a possibilidade de análise probabilística para os esforços, possibilitando a obtenção de valores de esforços compatíveis com uma probabilidade uniforme de não serem ultrapassados.

A adaptação das rotinas do *ExeSASSI*, para incluir a opção de análise com o programa *ACS-SASSI*, que inclui outros refinamentos, tais como a consideração de movimentos incoerentes e efeitos de passagem de onda, também fica como possibilidade de melhoramento para a rotina.

7.3.2.

Sugestões para prosseguimentos da linha de pesquisa

Sugere-se o prosseguimento da linha de pesquisa nos estudos dos sistemas secundários, principalmente os sistemas de tubulação que formam a grande parte dos SS dimensionados por análise espectral, com a inclusão da análise probabilística no estudo dos efeitos de não linearidades nos suportes, material da tubulação, condições de operação, etc. e obtenção de fatores com base probabilística para a transposição entre os espectros elásticos e os que consideram efeitos não lineares.

7.3.3.

Sugestões para acompanhamento de assuntos correlatos

O cenário do presente estudo é o de sistemas secundários e suas inter relações com o sistema principal. Porém, dentro de um contexto mais abrangente da análise sísmica, outras considerações modificam o ambiente sísmico e, portanto, as excitações de projeto dos sistemas secundários. As suas influências nas respostas dos sistemas principal e secundários têm sido estudadas pela comunidade internacional. Assim, no intuito de continuar em aproximação com as tendências atuais, sugere-se o acompanhamento da evolução no meio técnico científico externo dos seguintes tópicos:

- no estudo para a definição de Espectros de Resposta de Projeto de Ameaça Uniforme, UHRS (Uniform Hazard Response Spectra). Segundo as novas proposições [ASCE/SEI 43-05 – 2005] são utilizados fatores DF, “Design Factors”, para a modificação dos UHRS nos espectros de resposta de projeto de risco uniforme, URRS, que provêm a consistência de risco uniforme, que forma a base da análise de meta de performance especificada, preconizada para a instalação como um todo, KENNEDY (2007);

- na análise da influência de não linearidade da estrutura civil do sistema principal, SP, que conforme os estudos recentes patrocinados pela AIEA, tem se mostrado com grande influência na modificação das respostas sísmicas das estruturas civis, devido ao comportamento elasto-plástico do material concreto, JAEGYUN (2007).

- na avaliação probabilística das propriedades dinâmicas do solo, variáveis com a deformação e que atualmente ainda são obtidas por médias de variações paramétricas nas análises iterativas com programas como o *SHAKE*, a partir da representação do sismo por acelerogramas artificiais.