

3

Programa SASSI2000

3.1.

Descrição geral

O programa SASSI foi desenvolvido na Universidade da Califórnia, Berkeley, por um grupo de cinco estudantes de doutorado orientados pelo professor John Lysmer. Esse Programa é um sistema para análise de problemas de interação solo estrutura, bi ou tridimensionais, submetidos a uma excitação sísmica ou a uma excitação de carga externa, formulado no domínio da frequência usando técnicas de elementos finitos.

O problema da iteração solo-estrutura é mais convenientemente analisado utilizando o método da subestruturação. Dentro desta aproximação, o problema linear da interação solo-estrutura é subdividido em uma série de subproblemas. Cada subproblema é resolvido separadamente e os resultados são combinados no final de cada passo das análises para se obter uma solução completa por superposição.

Para tal utiliza-se o método da subestruturação do volume flexível. Esse método subdivide o sistema total, Figura 3.1(a), em dois subsistemas: um que é o do sítio original, Figura 3.1(b), e outro da estrutura mais fundação, menos o solo escavado, Figura 3.1(c).

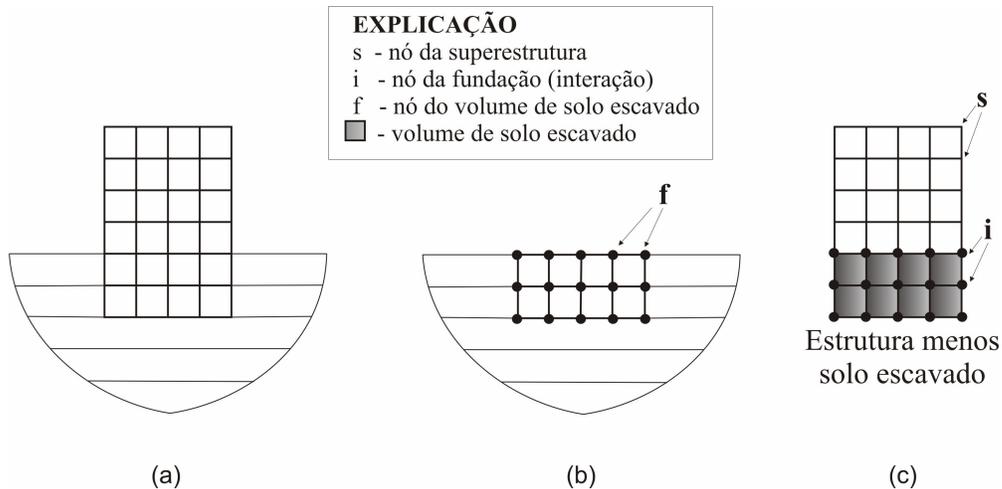


Figura 3.1 – Modelo de subestruturação do volume flexível. (a) Sistema Total; (b) Sítio original, com indicação dos nós do volume de solo escavado e (c) Estrutura. Fonte: manual teórico do SASSI2000.

As equações de movimento do sistema (a) são formuladas para o subsistema (c) em combinação com a solução do subsistema (b). Matricialmente a equação de movimento pode ser escrita na forma:

$$[M] \cdot \{\hat{U}\} + [K] \cdot \{\hat{U}\} = \{\hat{Q}\} \quad (3.1)$$

Onde: $[M]$ e $[K]$ - matrizes de massa total e rigidez

$\{\hat{U}\}$ - vetor de deslocamentos nodais totais para uma excitação harmônica na frequência ω .

$\{\hat{Q}\}$ - vetor de forças, devido a uma excitação sísmica ou a cargas dinâmicas externas para uma excitação harmônica na frequência ω .

Para a excitação harmônica na frequência ω , os vetores de força e deslocamento podem ser escritos como:

$$\{\hat{Q}\} = \{Q\} \exp(i\omega t) \quad (3.2)$$

$$\{\hat{U}\} = \{U\} \exp(i\omega t) \quad (3.3)$$

Onde $\{\hat{Q}\}$ e $\{\hat{U}\}$ são os vetores de força e deslocamento complexos na frequência ω , respectivamente.

Assim, para cada frequência ω a equação de movimento é da forma:

$$[C] \cdot \{U\} = \{Q\} \quad (3.4)$$

Onde: $[C] = [K] - \omega^2 [M]$ - matriz de rigidez dinâmica complexa dependente da frequência.

Usando os sub-índices adotados na Figura 3.1, s, f e i que indicam superestrutura, solo escavado e fundação, respectivamente, tem-se a equação de movimento para carga sísmica:

$$\begin{bmatrix} C_{ss} & C_{si} \\ C_{is} & C_{ii} - C_{ff} + X_{ff} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U_s \\ U_f \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ X_{ff} \cdot U_f' \end{Bmatrix} \quad (3.5)$$

Onde: $[X_{ff}]$ - matriz de impedância dependente da frequência.

$\{U_f'\}$ - movimento de campo-livre para os nós de interação mostrados na Figura 3.1(b).

Quando se introduzem nós de interação (fundação) no terreno, externos ao volume de solo escavado, para obtenção da cinemática do campo-livre através das funções de transferência, por exemplo, esses nós requerem linhas e colunas extras nas sub-matrizes da Equação (3.5), exceção à C_{ss} . Esses acréscimos são todos nulos para as matrizes X_{ff} e C_{ff} . De tal forma, a cinemática do campo-livre para esses nós extras é modificada levando em conta a interação solo-estrutura.

No caso da excitação por uma força externa, como impacto ou vento, o movimento de campo-livre desaparece e a equação fica da forma a seguir, sendo o vetor de carga nulo somente onde não há aplicação da carga:

$$\begin{bmatrix} C_{ss} & C_{si} \\ C_{is} & C_{ii} - C_{ff} + X_{ff} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U_s \\ U_f \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_s \\ P_f \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

A solução do problema requer então três passos principais: Obter o movimento do campo-livre, calcular a matriz de impedância e resolver o problema com a interação solo-estrutura.

O campo-livre, que é o terreno sem a escavação para acomodar a estrutura, é um dos focos deste estudo, e é abordado em mais detalhes na seqüência.

A matriz de impedância é uma matriz de rigidez dinâmica da fundação nos nós de interação. O cálculo da matriz de impedância é alcançado invertendo a matriz dinâmica de flexibilidade para cada frequência de análise. Uma descrição detalhada de como obtê-la pode ser encontrada no Manual Teórico do SASSI (1988).

A análise estrutural envolve a formação do vetor de carga e da matriz de rigidez complexa para a estrutura e a solução das equações de movimento para carga sísmica ou força externa, (Equações (3.5) e (3.6), respectivamente), dependendo do problema. O vetor de carga para excitação sísmica é obtido utilizando-se os deslocamentos do campo-livre e a matriz de impedância e, para força externa, é formado pelas forças de carregamento do sistema. A matriz de rigidez complexa depende das matrizes de massa e de rigidez da estrutura e do solo escavado. Resolve-se o sistema de equações obtendo-se, assim, as acelerações ou os deslocamentos desejados.

3.2. Ambientação

O programa SASSI2000 desenvolve seus resultados através de módulos que combinam suas respostas até chegar à solução. Para se utilizar o programa é necessário entender cada passo a ser realizado e o que cada seção do programa realiza. Então, a seguir, é descrito cada módulo do programa e suas funções. Deve-se ter em mente que, para a obtenção da solução do campo-livre, é necessário rodar apenas alguns módulos do programa, que dependem exclusivamente da formulação do cenário sísmico.

HOUSE – As matrizes de massa e rigidez da estrutura como também do solo escavado são formadas no módulo HOUSE e armazenadas no Tape 4.

MOTOR – Este módulo do programa forma os elementos do vetor de carregamento que correspondem a forças externas como: forças de impacto agindo na estrutura ou forças de rotação de máquinas dentro da estrutura. As informações criadas são armazenadas no Tape 9.

SITE – Este módulo recebe as propriedades do solo, as frequências de análise, as propriedades das camadas e são calculadas as configurações modais do movimento de controle no campo-livre e armazenadas no Tape 1. A composição das ondas é feita no SITE 2, como também a definição do ponto de controle e os resultados são armazenados no Tape 2.

POINT – A solução do POINT é necessária para computar a matriz de flexibilidade F_{ff} , para os nós de iteração que são obtidos no módulo POINT para cada frequência de análise, e as matrizes são armazenadas no Tape 3. Esta etapa do programa requer o Tape 2 como entrada.

MATRIX – Usando a entrada dos Tapes 3 e 4, o subprograma MATRIX forma, para cada frequência, a matriz de impedância $X(\omega)$. Esta é escrita no Tape 5. Também são formadas as matrizes complexas modificadas, as quais são triangularizadas e armazenadas no Tape 6.

LOADS – Este módulo computa o vetor de cargas para cada frequência e armazena no Tape 7.

SOLVE – O subprograma SOLVE lê as matrizes de rigidez reduzidas do Tape 6 e o vetor de cargas do Tape 7. Ele então executa substituições para obter as amplitudes dos deslocamentos totais. Essas amplitudes são funções de transferência do movimento de controle no movimento final. Os resultados são armazenados no Tape 8, que agora contém a solução completa nos termos das funções de transferências.

ANALYS – O módulo ANALYS do programa é o coração do programa SASSI. Ele dirige os subprogramas MATRIX, LOAD e SOLVE e, através disso, controla o recomeço dos modos do programa.

COMBIN – Este módulo do programa torna possível adicionar às frequências de análise, através de combinação, os resultados de 2 passos de frequência. Basicamente o que este programa faz é tomar dois Tapes 8 e combinar dentro dele um novo Tape 8 que inclui a solução de 2 passos de frequência.

MOTION – O principal propósito deste (determinístico) pós-processador é a produção de funções temporais para mostrar as acelerações, velocidades e deslocamentos. Ele pode também fornecer as funções de transferência e o espectro de resposta.

RANDOM – Este (probabilístico) pós-processador tem muitas considerações similares ao programa MOTION. Entretanto, ao invés de aceitar a função temporal do movimento de controle ele recebe um espectro de potência ou de resposta para esse movimento. Ele então avalia a probabilidade da resposta na estrutura. Este pós-processador ainda não está disponível.

STRESS – Este módulo do programa é um pós-processador que pode ser usado na avaliação das máximas tensões e deformações dos elementos estruturais e (ou) para aproximar os valores das máximas tensões de cisalhamento no solo através da avaliação da máxima tensão octaédrica no centro de cada elemento do solo. Os Tapes 4 e 8 e a função temporal do movimento de controle deve fazer parte do arquivo de entrada deste programa.

3.3. Esquema de solução com diagrama de bloco

Nesta seção é apresentada a descrição do funcionamento do programa através do diagrama de bloco que representa cada passo até a solução, ver Figura 3.2.

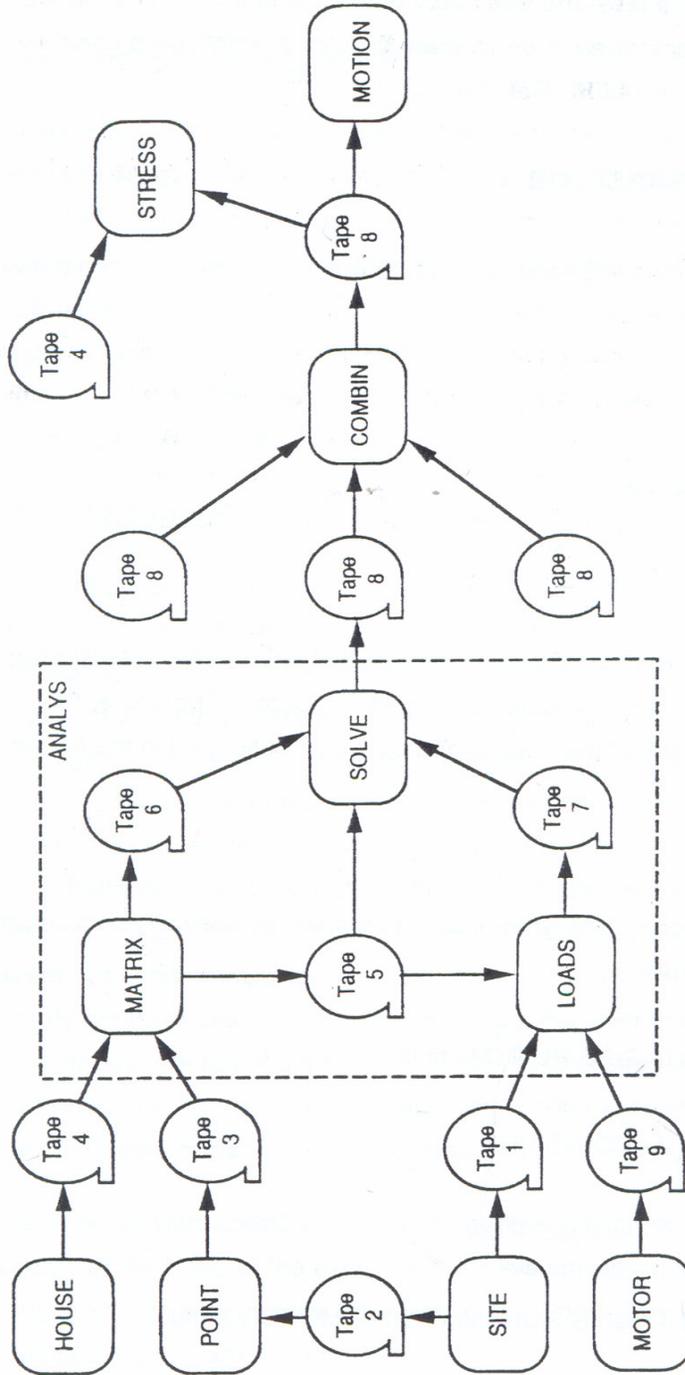


Figura 3.2- Diagrama de bloco do SASSI2000. Fonte: Manual do Usuário - SASSI2000.